Ralph F. Miles, Tr.

Systems Concepts

LECTURES ON CONTEMPORARY APPROACHES TO SYSTEMS

系 統 思 想

〔美〕小拉尔夫·弗·迈尔斯主编

杨志信　葛明浩译

VISIT…

《走向未来》丛书顾问

（按姓氏笔划为序）

包遵信　严济慈　杜润生　张黎群　陈一咨
陈翰伯　钟沛璋　侯外庐　钱三强

《走向未来》丛书编辑委员会

主　编：金观涛
副主编：陈越光　唐若昕
编　委：（按姓氏笔划为序）

丁学良　王小强　王岐山　王军衡
王晓鲁　王　焱　尹蓝天　乐秀成
朱嘉明　朱熹豪　刘　东　刘青峰
严家其　何维凌　张　钢　阮芳赋
陈子伶　陈越光　易小冶　金观涛
秦晓鹰　贾新民　翁永曦　唐若昕
陶德荣　黄江南　董秀玉　樊洪业
戴士和

编者献辞

《走向未来》丛书和读者见面了。

她凝聚着我们的心血和期望。

我们期待她能够：展现当代自然科学和社会科学日新月异的面貌；反映人类认识和追求真理的曲折道路；记录这一代人对祖国命运和人类未来的思考。

我们的时代是不寻常的。二十世纪科学技术革命正在迅速而又深刻地改变着人类的社会生活和生存方式。人们迫切地感到，必须严肃认真地对待一个富有挑战性的、千变万化的未来。正是在这种历史关头，中华民族开始了自己悠久历史中又一次真正的复兴。

在艰苦而又富有生命力的改革道路上，我们坚定了马克思主义的信仰，理解了科学的价值，并逐

步深化了对我们时代和民族的认识。今天，我们听从祖国的召唤，热情地投身于实现社会主义现代化的伟大潮流。

马克思有一句名言："思想的闪电一旦真正射入这块没有触动过的人民园地，德国人就会解放成为人。"* 今天，照亮我们民族的思想闪电，就是马克思主义、科学精神和我们民族优秀传统的结合，以及由此开始的创新！

《走向未来》丛书力图从世界观高度把握当代科学的最新成就和特点，通过精选、咀嚼、消化了的各门学科的知识，使读者特别是青年读者能从整个人类文明曲折的发展和更迭中，理解中华民族的伟大贡献和历史地位，科学地认识世界发展的趋势，激发对祖国、对民族的热爱和责任感。

她特别注重于科学的思想方法和新兴的边缘学科的介绍和应用；把当前我国自然科学、社会科学，以及文学艺术方面创造性的成果，严肃地介绍给社会，推动自然科学与社会科学的结合。

《丛书》是个新的园地，她将自始至终贯彻严肃认真的学风和生动活泼的文风。

---

* 《马克思恩格斯选集》，人民出版社，1975年版，第1卷，第15页。

《走向未来》丛书，从她一开始就受到老一辈共产党人关怀，受到学术界前辈的热情支持。

约四百年前，弗兰西斯·培根在《伟大的复兴》一书序言中，曾经这样谈到书中描述的对象，他“希望人们不要把它看作一种意见，而要看作是一项事业，并相信我们在这里所做的不是为某一宗派或理论奠定基础，而是为人类的福祉和尊严……。”我们怀着真挚的感情，把这段话献给《丛书》的读者，希望广大读者关心她、批评她、帮助她。

让她成为我们共同的事业。

《走向未来》丛书编委会

一九八三年六月于北京

前　言

本书原著自问世距今已有十年，乍看起来好象有点过时，但只要读者仔细翻阅一遍，想必会有不少新的启迪。本书围绕系统概念，把自然科学和社会科学中的某些思想、理论和方法熔铸一起，涉及的领域非常广泛。作者都是国际上享有盛誉的专家、教授，他们通过重大系统工程项目的研究积累了丰富的实践经验。因此，本书的内容既保持宽广的论域，而又不失于肤浅，其中不少卓见远识，对我国的四化建设，仍有重要的参考价值。

由于本书是研究现代系统的系列讲座，尽管上下文有所呼应，但每章都有独立的主题，因此，读者可根据需要前后任意选阅。必须指出，书中的某些论述，明显地暴露了西方社会制度所存在的固有弊病和民族偏见，但为了保持作者原有的风格和原

著的完整性，译者未作任何删节。此外，为了便于阅读，译者增加了若干注释。

本书于1979年开始试译，张弘同志参加过部分工作；周佳奕同志为本书全文作了初步的校对。1985年承蒙赵中立先生、张宜三先生对全书进行了精心的审阅与校译，对此表示衷心的感谢。但鉴于译者的水平有限，书中不妥和错误之处在所难免，恳请广大读者批评指正。

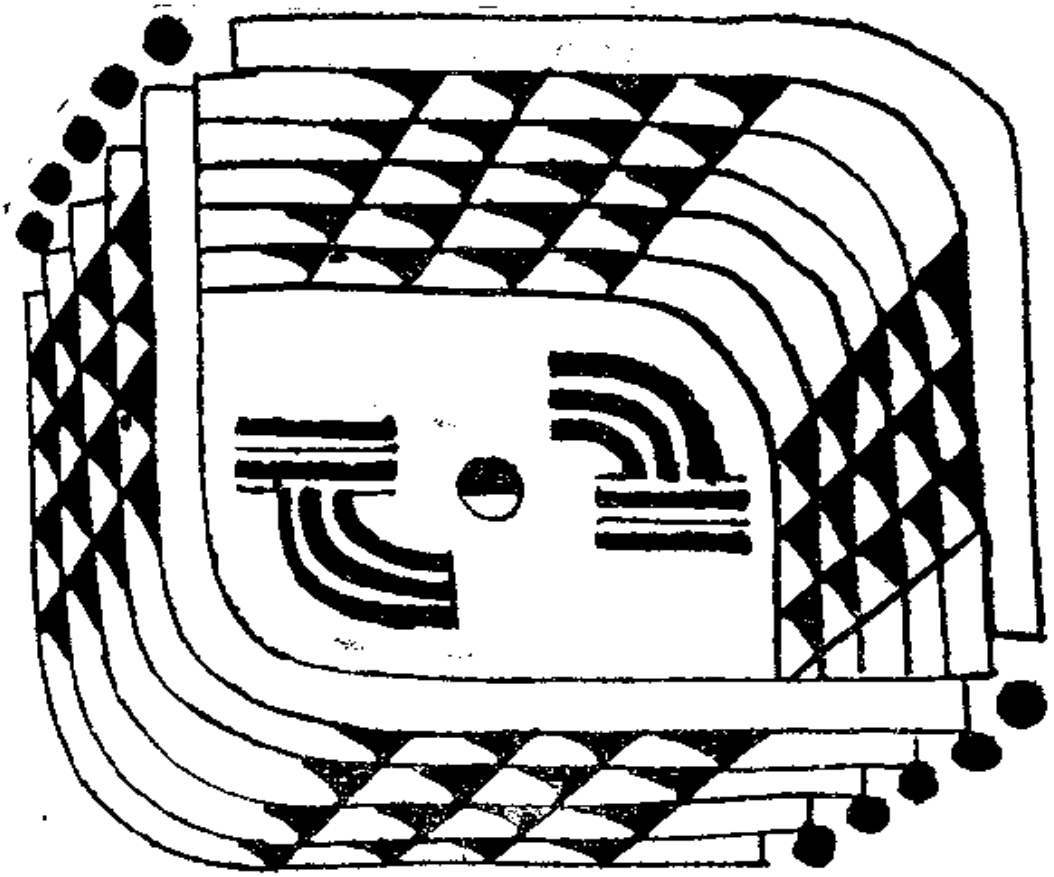
译　者

1985年9月于北京

目　录

第一章　绪论…… 小拉尔夫·F·迈尔斯　1
第二章　系统方法……西蒙·雷莫　21
第三章　大规模系统工程
…… 罗伯特·E·麦克霍尔
小拉尔夫·F·迈尔斯　55
第四章　系统工程中的决策分析
…… 罗纳德·A·霍华德　85
第五章　分而治之：制订决策过程中如何使用
似然和价值判断……沃德·爱德华兹　151
第六章　运筹学的分析方法
…… 菲利普·M·莫尔斯　193
第七章　喷气推进实验室的系统工程
…… 威廉·H·皮克林　221
第八章　阿波罗：回顾…… 乔治·E·缪勒　257

第九章　规划—计划—预算系统
…… 亨利·S·罗温 277
第十章　社会系统中的系统概念
…… 罗伯特·博古斯劳 299
第十一章　评社会组织的系统方法
…… 韦斯特·丘奇曼 325



第一章

绪　　论

R·F·迈尔斯·

• 小拉尔夫·F·迈尔斯（RALPH·F·MILES, JR）
加利福尼亚理工学院喷气推进实验室技术部成员。

1-1 系统思想

大多数人对于系统方法或“系统工程”都有着直观的概念，系统工程则是在比较偏重技术方面时的名称。长期以来，土木工程师就一直在建造庞大的系统——诸如城市、道路、渠道和金字塔这样的系统。今天，航空工程师，化学工程师和电气工程师则采用复杂的人-机接口，设计在技术上很复杂的大型系统。计算机程序设计师，生物学家，经济学家和社会学家，全都在运用系统思想。

这些直观的系统概念，在很大程度上都是正确的。虽然如此，难道系统工程不正是我们一直想要搞的“好工程”吗？

系统工程是好工程。不仅如此，它在侧重点上的变化超过了在内容上的变化——系统工程更加强调确定目标以及同这些目标有关的系统性能，更加强

调决策标准，提出可供选择的方案，建立可供分析的系统模型以及控制执行和运转过程。

总起来说，系统思想构成一种观点和一种方法，它必须使整个系统达到最优化，而不是使这个系统中的各个元素分别都达到次优化。此外，一般所说的系统概念也包括系统设计和系统运转过程中所涉及到的许多方法论方面和分析方面的技巧。

韦伯斯特大词典未删节本，用了整整一栏来说明“系统”这个词以及它的各种规范形式和同义词。其中与我们的论题有直接关系的那些定义列举如下：

由许多通常是种类不同的部分，依照一个共同的计划或者适用于一个共同目的所形成的一个复杂的统一体。

在有规律的相互作用或相互依赖中连接起来的那些对象所构成的一个聚集体或集合体；由自然或人工组合成为一个完整的、有机的、或者有组织的整体之单元集合；一个有条不紊进行工作的总体。

形成一个网络或用于一个共同目的的一组装置或一组人工制品。

一套有条理的或既定的程序或方法，或用来实现这套程序或方法的一组材料或器械。

一个收集信息和分配信息的机构或网络。

按本书的目的，系统被定义为满足一种需要或要求所用的一组概念和（或）一组元素。当人们能够将一种需要与满足这种需要的能力联系起来时，就产生了一种系统的概念。因此有多种多样的系统：航天系统、下水道系统、行政系统、心血管系统、赌博系统，甚至有为打击某一系统而建立的系统。如图1—1所示，“系统工程”被定义为从原始的系统概念出发到创建这个系统所必需的概念和技术的集合，或者更完善地说，它是从原始的系统概念出发达到满足原先的需要所必需的概念和技术的集

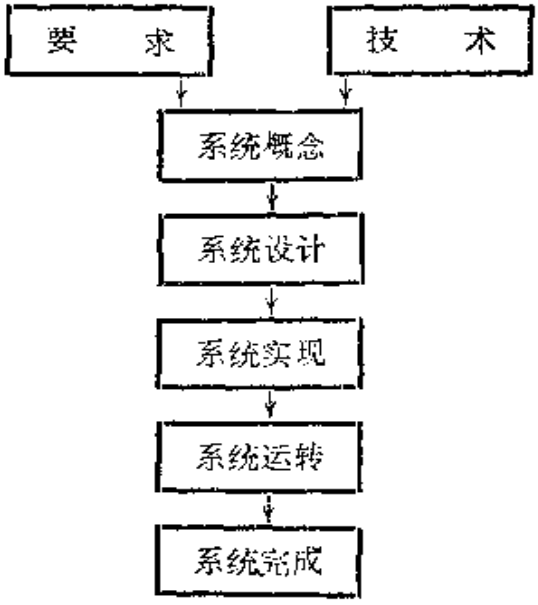


图1—1　系统工程发展阶段

合。这样，人们就能够谈到一项飞往火星的星际飞行系统工程，或者论及一种更有意义、更有效的司法系统的系统工程。

至于系统思想适合的系统类型并没有明确的界限。在第三章中，罗伯特·麦克霍尔和拉尔夫·迈尔斯认为，与系统思想有关的这类系统具有如下一些性质：

系统是人造的。

系统具有整体性——所有的组成部分都为了达到一个共同的目的，由给定的输入产生一组最佳的输出。

系统是庞大的——无论在不同部件的数量上，在相同部件的重复上，也许在所执行的职能上，当然还有在费用开支上，都是庞大的。

系统是复杂的，这就是说，系统中一个变量的变化将会影响许多其他的变量，而且这种影响很少呈线性形式。

系统是半自动的，有人-机接口，这就是说，机器总是执行系统的某些职能，而人总是执行其他的职能。

系统的某些输入是随机的，因而无法预测系统在任何瞬间的精确运行情况。

要应用系统思想，一个系统并不必要显示出所

有这些特征。不过，这种性质的特征决定了系统思想的现实意义和必要性的程度。

图1—2表示系统类型的层次结构。三角形的底层由我们的知识编纂成的各门基础科学组成，其中我们有意把软科学也像硬科学那样包括在内。三角形的第二层由为应用我们的知识而获得的各种工艺学，各种技巧和技术所组成。第三层是各种技术系统，它们在共同努力实现一种技术目标的过程中，应用、集成和管理各种工艺技术。在技术系统上面的是民用系统，它们更接近于社会福利目标——诸如运输系统和卫生—保健系统等。在三角形顶端为社会系统，它们的目标是社会福利—管理系统、立法与司法系统。

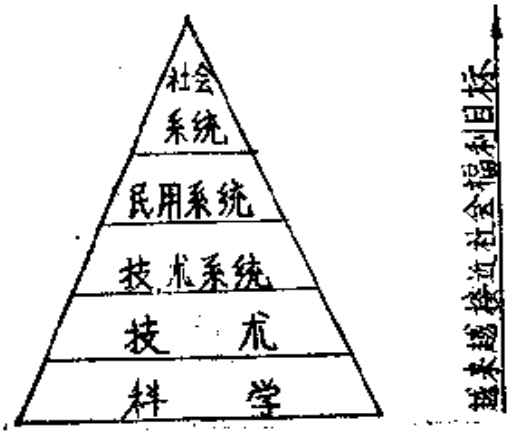


图1—2 系统的层次结构、技术和科学

怎样识别一个特定系统的层次呢？显而易见的识别标准是与它所包含的技术硬件的数量有关。一个更重要的基本规则表明，当我们攀登这个三角形时，目标或目的与社会福利的关系就越来越密切。至于基础科学，那是没有社会福利标准可言的。没有人会去要求一个原子应当如何。但有关社会福利的评判的确已经进入工艺技术之中。譬如说，一个国家应该利用原子分裂的科学知识来建立核动力站，还是应该用来制造原子弹？

纯技术系统是依照一项规定的和成文的技术规范加以评价的。一项宇宙飞行任务的成绩，可以把执行情况与技术目标进行对比来加以评价。民用系统虽然强调要符合社会需要，但至少有一部分是可以根据技术目标来加以评价的。运输系统可以部分地用诸如费用—效果和运送次数等技术参数进行估价，尽管一个民用系统的设计总是有其社会考虑的。这个系统为谁服务？谁来承担费用？应当要求什么样的安全程度？

设计社会系统主要是为了增进社会福利——用行政管理来代替无政府状态，用法律和秩序代替无法无天和混乱，用教育来消除愚昧无知。容易测得的社会指标往往不能正确反映社会系统的效果。学

生与教师的比率和各种设备的费用，它们本身并不能衡量一个教育系统所传授的知识和技能。

每门技术至少有一门基础科学作为它的基础，虽然这门技术在这门科学出现之前可能早就有了较好的发展（例如玻璃制造技术）。在每个技术系统或民用系统上面有一个提供宗旨、目标和决策标准的社会系统。当然，所有一切涉及到人的系统最终总要被纳入到一个社会系统之中。

固体物理是一门基础科学，它是晶体管制造技术的基础。一台日产10,000只晶体管的自动化机器，或一个日产10,000台晶体管收音机的工厂，都是技术系统的例子。一个不发达国家中的无线电台网络，对没有文化的农民进行广播教育，可以算一个民用系统。一个不发达国家是否应该拨出有限的资源给这样一个系统，那倒是这个社会系统结构中应当提出的一个问题。

1-2 本书的概况

本书的结构大致上分成两部分，一部分章节讲理论，而另一部分章节讲应用。然而，这种划分界

限并不明确，主要是因为所有作者都已经卷入系统思想的实际应用之中。

第二章“系统方法”，由西蒙·雷莫（Simon Ramo）执笔，对系统思想及其可适用的广阔范围提出了总的看法。在第二次世界大战前后，系统工程成为在复杂系统设计中的一种必不可少的工作，此后在设计工业、运输、通讯和管理的许多现代系统中得到采用。在第三章“大规模系统工程”中，罗伯特·麦克霍尔和拉尔夫·迈尔斯讨论了系统工程的若干指导原则。

设计系统和使系统得以实现需要作出大量的决策——这些决策涉及到在复杂环境中的复杂问题。决策分析试图用这样一种方法来建立和分析这些复杂的决策问题，以致那些同样在一个简单问题中可能存在的逻辑关系得到保持。至于复杂的现实世界的决策问题是否可以由建立模型和分析来解决，这是个长期存在的问题。我们在其中作出现实世界决策的整个世界，比起任何有希望能得到的模型，在复杂性方面总是丰富得多，这是无可争辩的事实。然而，决策还是作出了，资源也还是被分配了。很明显，出现这种事情完全不是以复杂的世界为基础，而是以对决策环境作出的比较简单的模型为基础。

决策分析的主旨就是要在分析现实世界的问题中，体现出逻辑的精确性，并能正确表示出择优选取的比较方案。在第四章"系统工程中的决策分析"里，罗纳德·霍华德介绍了决策分析全过程，并叙述了概率、效益、价值、信息、时间、风险和不确定性在决策分析中的作用。

第五章"分而治之：制定决策过程中如何使用似然和价值判断"，由沃德·爱德华兹执笔，他考虑到隐含在制订决策过程中的心理学概念，为前一章决策分析作了补充。在任何一种动脑筋想出来的假定的决策环境中，通过形式逻辑所得到的那些决策，都能显得比依据直觉所提出的决策要优越。爱德华兹提出一个论点，认为这些同样的形式逻辑技巧完全能够运用到现实世界的决策环境中去，虽然没有加以证明，这种研究方法却一再表现出是优越的。

大系统有无法摆脱的复杂性。为了满足系统分析的需要，已经改造了原有的分析方法并且提出了新的方法。在第六章"运筹学的分析技巧"中，菲利普·莫尔斯讨论了若干对运筹学有用的分析技巧和数学模型，并且指出它们实际上已经如何应用到系统问题之中。

系统工程在航空与宇航工业中已经获得了蔚然可观的应用——利用卫星联络的全球通讯系统，飞往月球并返回地面的阿波罗系统，飞行数亿哩到达遥远行星的宇宙飞船等。管理、规划、执行和操作复杂的宇航系统的这些现代化程序，首先是在通讯系统和弹道导弹系统发展起来的。这些程序已扩充到所有的军事系统，并且后来由美国国家航空和宇航局（NASA）加以汇总。

喷气推进实验室，通过它管理和参与登月和飞往行星的工程设计，对系统工程的发展作出了重大的贡献。近年来，喷气推进实验室已把它的系统工程专门知识应用到民用系统问题中，诸如卫生—保健系统、环境控制、防止犯罪以及运输系统设计之中。在第七章“喷气推进实验室的系统工程”中，威廉·皮克林介绍了用于登月和飞往行星的任务设计中的系统思想，并且讨论这些系统思想已经如何转用于民用系统的设计之中。

在第八章“阿波罗：回顾”中，乔治·缪勒讨论了设计和实现阿波罗计划过程中所遇到的种种问题。他明确指出，不管阿波罗计划如何庞大——利用的资源众多，涉及的高度熟练人员数量大，系统的规模大，复杂性高——在面临大量不确定因素的

条件下，终于依靠很少数一些人做出了极端困难的决策，解决了主要的问题。

“规划—计划—预算”作为一种管理系统，二十世纪六十年代首先出自美国国防部。这种管理系统最重要的方面为：对各项目标进行细致的说明和有系统的分析；探求各种可供选择的有关方案，达到目标的不同途径；估算每一种可供选择方案的总投资；对每一种可供选择方案的效果及其如何满足这些目标予以评价；以及对各种选择方案进行对比分析。在第九章“规划—计划—预算系统”中，亨利·罗温讨论了迄今为止在管理中应用这种系统所获得的成就。

在第十章“社会系统中的系统思想”中，罗伯特·博古斯劳介绍了用这个系统的组成部分来设计社会系统的思想。人是一个社会系统的基本组成部分，而这个系统的存在则是为了增进人的福利。各种需求和约束条件在系统的层次结构中上下流动着。因此，社会系统的设计师一身兼三任，既是设计者，也是谈判者和仲裁人。

在最后一章“评社会组织的系统方法”中，C·韦斯特·丘奇曼回顾了组织理论的历史，并试图把这些组织看作是系统思想应当可以适用的社会系

统。他得出结论说，需要把系统方法应用于系统分析本身，并且预言未来的系统方法将体现出他所描述的那样一种辩证的学习过程。

1-3 系统方法

在第二章中西蒙·雷莫说：

> “系统方法是用科学方法解决复杂问题的一门技术。它的注意力集中在分析和设计与其成分或部分截然不同的整体。它坚持全面地看问题，考虑所有的侧面和一切可变因素，并且把问题的社会方面与技术方面联系起来。

在应用系统方法的过程中，搞系统的人认识到出自某一个层次上的需要或问题，总是在较高层次上有起作用的因素。因此人们应该尝试在更广泛的联系上来观察那些直接的需要或正在恶化的问题。那些产生这种需要或引起这个问题的因素是什么？这个问题完全就在它本身，还是它只是一种更广泛、更基本的关系的表现呢？越来越多的警察，配备越来越奇异的技术，虽然可以减少城市贫民窟内的犯罪率，但是发现不了根本性的经济问题和社会

问题。为了使癌症的发病率减少到最低限度，医生告诫病人不要吸烟。但一位掌握系统方法的行为科学家则试图减缓那些从心理学和社会学上看来引起病人吸烟的因素。

运用这种方法研究任何重大的系统问题，都需要极其丰富的知识和多种多样人才的相互作用。因此这种方法的大量使用已预示了由各种有关技术专家组成的“系统队伍”的来临。

运用系统方法并从事系统工程工作必然包含着解决大量的问题，为此，研究一下那些在问题求解方面的系统思想是有价值的。大约在六十年前，当约翰·杜威提出：

1．问题是什么？

2．可供选择的是些什么方案？

3．选择哪一种方案最佳？

他就说明了问题求解的实质。

无论是有几十亿美元资产的有限公司董事长，还是澳大利亚西部的一个土著居民，每个人的一生都是在解决问题。的确可以这样讲，生活本身就表现为一系列的问题，最后以一个你不能解决的问题而告终！所以对人类来说，问题求解完全不是新鲜事。系统方法所要做的就是要从逻辑上构造出解决

问题的方法论。

主要是由于通讯和航空、宇航工业的影响，杜威的提法今天已经发展成为著名的“系统方法”。如图1—3所示，根据系统必须满足的目标和可以用来评定可供选择系统的等级的标准，将问题、需要、要求或目的加以定量化。在进行系统综合的过程中，产生一组可供选择的系统。根据已阐明的目标和设计标准，对这些系统中的每一个作出分析和评价。然后选出一个“最佳的”或“最优的”系统并加以实现。当然，这个过程实际上是要经过很多次反复的，要把后面步骤中得到的结果反馈到前面步骤中去修正目标、标准、系统选择等等。

你如何利用系统方法呢？让我们假定你有一个情况，它同一种需要有关或涉及到某个问题。那么系统方法要求你作如下各步工作：

系 统 方 法

1 目的定义或问题表述
2 制定目标和评审标准
3 系统综合
4 系统分析
5 系统选择
6 系统实现

图1—3 系统方法各步骤

1．用逻辑的、条理清晰的方式（几句话、一张图、如果可能的话用数学）来表达你对情况的理解。

2．提出这个系统为达到目的所必须满足的一组目标和标准。如果这个情况中包含一个问题，则要说明在问题消失之后将存在的各种特征。

3．提出解决该情况的选择方案；不是只有一种方案，而是有一组方案可供你挑选。

4．依据你的目的和标准，审查和分析每个可供选择的方案。选取你喜爱的方案并实现这个解决办法。

系统方法迄今为止的成功经验表明：如果能够明确地提出系统目标，而且所要求的各种技术和科学足够成熟，工作进程就顺当。阿波罗计划的目标可以清楚地陈述为："在十年之内，把一个人送上月球，并使他安全地返回地面。"实现阿波罗计划所要求的四个主要系统技术——大型运载火箭，在宇宙空间运行的飞船，弹道线路分析和轨道测定系统以及通讯系统——在二十世纪六十年代已达到成熟阶段。

有两个重要的因素阻碍了把这种设计程序成功地应用于民用系统或社会系统中去。第一位的也是

最基本的因素是很难把系统目标和系统标准阐述清楚。譬如有两个运输系统，一个系统行驶快速但是颠簸，另一个系统行驶慢但是平稳。我们究竟选择哪一个好呢？又如，根据什么标准，我们才能识别出某个教育系统是最适宜的呢？

第二个起阻碍作用的因素是所需要的技术和科学——软科学——还不够成熟。“描述者”尚有待描述。不仅生理学上的人有许多东西我们不知道，在心理学上关于人的知识也是残缺不全的。由于缺乏这方面的基本知识，结果，一个图书馆为了使用最佳，设计是没有窗户，而另一个图书馆，声称也是最优化设计出来的，却有着很多窗户。甚至什么样的人才是“正常的人”，对这个问题也缺乏认识。可是这个问题却是隐含在每个社会系统的设计标准之中。

系统工程依赖基础科学的和各门学科的所有概念。系统工程目前的技术状态是，现在已经有了一整套充分证明了的方法，可以把各门技术学科集成为技术系统。民用系统和社会系统现在处于系统工程的前沿上。也许在人的心理特性和社会特性得到更好的理解之前，民用系统和社会系统的设计师只能取得有限的成功。

由此可见，当一定的条件得到满足时，系统方法才会很好地解决问题。这些条件，对于技术系统的设计是得到满足的，但是对于民用系统和社会系统的设计则只是部分地得到满足。

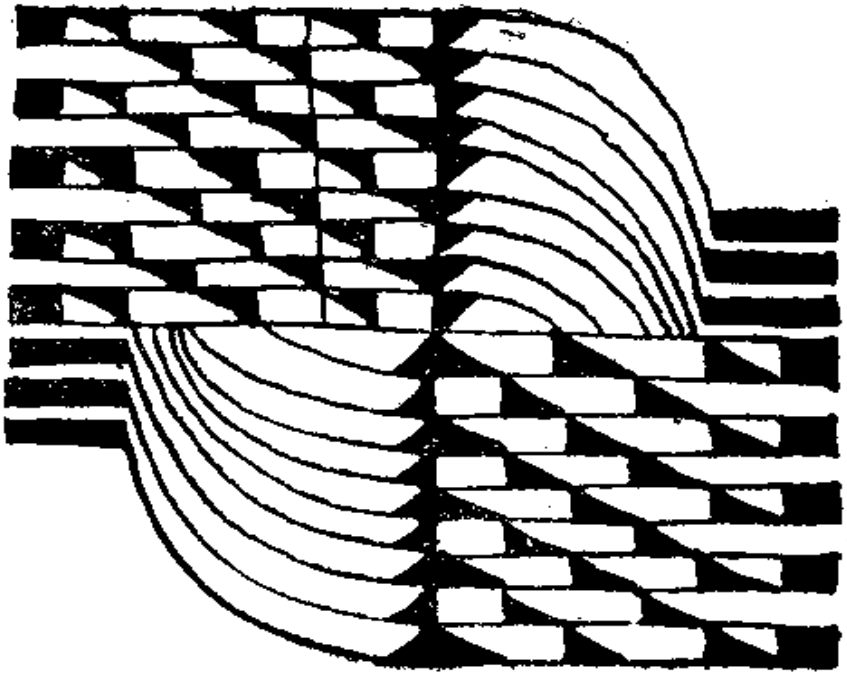
系统方法的现代概念是从高度精致复杂的技术程序中演化而来的，从某些方面来看，虽然这几乎是不可避免的，但却是不幸的。宇航事业的技术行话已经使系统方法变得累赘，电子计算机和数学的奥秘又把它笼罩起来。可是系统方法的真正本质是十分简单而且为人们的常识所能信赖的。

系统方法只不过是平凡的常识，每个概念，每个步骤在常识上都是合理可行的。系统方法的价值就在于它使你能够把所有这些常识性的思想汇集起来，协调一致，集中解决复杂环境中的复杂问题。

系统方法并不为你解决问题。只有你自己才能解决问题。系统方法所做的是许可你以一种合乎逻辑的合理方法来着手解决问题——由你自己来解决。你是必须弄清存在的问题或了解需要的人。你是必需提出可供选择方案的人。你又是必需为挑选一个合适的方案而提出标准的人。系统方法在这些方面不会为你做任何事情。

心理学家说，我们人类都向往独具一格，渴望

有权利成为一个独立的、很有特色的个人。系统方法在一个非常合理的框架内给你这种机会。在你识别自己的问题，选择方案和决策标准时，系统方法允许你合理地表现你的个性。



第 二 章

系 统 方 法

其中揭示了整治混乱的办法

S· 雷 莫*

• 西蒙·雷莫（SIMON·RAMO） 汤普森—雷莫—伍尔德里奇公司（TRW Inc.）的执行委员会的主席和董事会副董事长，加利福尼亚技术研究所评委会委员。

2-1 对系统技术的需要

我们的社会有两大领域——企业和国防——在应用先进技术方面已经取得出色的成就。在自由经营的企业部门中，私人资本乐意投资发展生产，而其最终产品大致上体现了工业生产能力和社会需求之间的相互关系，竞争的市场和利润刺激使得对产品的需求与必要的资源相互匹配，从而使产品得以发展和生产。这个系统远不是完备的，也不是无所不包，但是这个系统运转得足够良好，并且大部分技术潜力为了社会需要而得到挖掘利用。

国防上需要的产品不能自动地从自由经营的企业系统得到时，那就要在政府的主持和管制下动员各种技术资源来满足它的需要，虽然其结果所付代价很高，而各项活动又往往有争议，但是政府——工业——科学三者关系恰能各得其所，完成任务。

对比之下，还有一个巨大的全国性需要的领域，那里几乎没有什么东西来对技术施加影响：管辖自然资源，城市内和城市间的交通运输，空气污染和水的污染，城市的改建和扩建，教育，公共卫生。这些问题，我们将称之为"民用系统"，趋向有一定的共同特征。它们涉及到各种各样互不相干的目标。它们全是又大又复杂的问题。解决这些问题看来花钱极多，通常要求运用高级复杂的技术。没有许多不习惯合作的半自主性的团体的合作，任何改善都是不可能的。一般说来，这些问题不能靠单项产品或单项服务的发展来解决。新思想、新设备，为了人而进行的困难的调整和提出新颖的职权，及其彼此之间未经试验过的相互关系，所有这一切，对于解决问题都是必需的。

甚至连分析这些问题，提出实际的和有意义的建议都不是容易的。只就这一点来说，通常要求社会有某种进步。因此许多民用系统问题并不能由自由经营的企业得到迅速或完善的解决。对于私营部门来说，只有当某种市场需要，某些可识别的消费者集团出现时才会提供答案，如果你想消除几个城市都倾注垃圾和工业废水的一条河流的污染，那么谁来花钱开发这种设备——谁是顾客？在这方面，

就象在军事领域中似的，一般并不存在工业和社会之间的市场关系。因此，这个问题在技术上如何解决我们还弄不懂。

本章的主题是：科学在这种民用系统领域中的应用。今后的十年中，我们有理由相信整治混乱的办法将得到发展。

一方面，我们现在看到公众开始对这些问题感到兴趣。有思想的人们正在开始提出各种问题。如果我们能够使人在月球上呼吸到新鲜空气，那么为什么在我们的城市里反倒吸不到新鲜空气呢？如果技术可以使我们在两小时内由美国飞到欧洲，那么为什么我们不能应用技术使我们花更少的时间就能到达飞机场呢？如果我们掌握的能量可以在数分钟内摧毁整个社会，那又为什么我们不能利用这种能量淡化海水呢？如果我们能够记录和分析千哩之外的自控导弹中的一个小零件的电压，那又为什么我们不能为躺在医院中的病人确实提供极好的医疗器械呢？

同时，关心这类问题的人全都懂得解决这些问题是很困难的，既费时间又费金钱。我们没有时间或金钱从事基本上是错误的解决办法，然后停下来再重新开始。我们需要所有我们可能达到的逻辑

性、创造性和客观性。

在此期间，随着公众兴趣的增长，一种新的方法论日益成熟起来。这种方法论，称为“系统方法”，乃是把科学成功地应用于军事系统和空间系统的一种根本的要素。现在我们开始认识到系统方法用来解决民用系统这类问题也是很适宜的。

系统方法是用科学方法解决复杂问题的一种技术。它的注意力集中在分析、设计与其成分或部分截然不同的整体。它坚持全面地看问题，考虑所有的侧面和一切可变因素，并且把问题的社会方面与技术方面联系起来。

一旦设想出种种解决方案，就运用周详的系统形式来表达它们，即把人和机器组合起来，并指定每个人、每台机器的职能，详细说明材料的使用和信息流通的式样，这样形成的整个系统就表现了一个为达到特定目标集合的最优化的总体。

系统方法在高度复杂的技术水平上运用逻辑、智慧和想象。它往往是定量的，而且总是客观的。系统方法使我们有可能考虑到需要考虑的极其大量的、往往互相矛盾的数据资料。系统方法清楚地说明了复杂的实际生活问题中各个要素之间的相互作用，它承认，为了“权衡”各个不可兼顾的因素，

诸如时间对费用的关系，仔细地折衷是必需的。系统方法只要可能就应用模拟和数学模型法，以便在整个系统变成现实之前预测系统的行为。通过坚持考察全盘问题——目标、评判标准、费用、收益和不利后果等等——系统方法试图揭示出我们能够期望得到什么，要我们付出多大代价，并且有可能从许多可供选择的方案中选出最好的方案。

把系统方法称为“新的”智能学科未免言过其实。在某些情况下，它是一个为人们熟知的老概念。请注意，在电话系统、武器系统、美国联邦储备系统、地下铁道系统中就有“系统”这个词。老的意思也仍然是新的含义；“系统”这个词是指整体，许多部分的组合，人和机器复杂的群体。

用组织起来的方式来解决大问题肯定是更古老的概念。当建造斯芬克斯，修筑古罗马大街，建造伦敦大桥和开凿巴拿马运河的时候，每项工程都必需有一些人，其职责是把当时的技术同目标、同社会环境、以及同可利用的资源联系起来。如果靠任意地、偶然地从天上掉下来的一件件器械，当它们连接在一起，刚好就会正常运行，那末我们是无法建立起电话系统和电力分配系统的。

你并不一定要是个专门从事系统方法工作的

人。但当我们之中有人存在问题时——如制定预算，选择居住地点或寻找职业，设计一把椅子或一所房子，选择旅行路线等，则无论要解决好哪一个问题，都需要合乎逻辑，要运用我们所有的智慧，客观地考虑各种有关的因素，并且要注意有许多可供选择的方案。

是什么原因使得这种方法在今天显得象个新东西呢？部分原因是近年来系统工程的工具有了迅速发展。这主要是由于在高度复杂、昂贵的防务和空间计划中需要这种方法论的结果。大型电子计算机的问世使我们有可能进行信息处理，这对实际生活问题中的有关部分进行良好的定量分析是十分基本的。电子计算机仅次于灵巧的人类大脑，是系统分析最重要的工具。

另一方面，现在第一次有了大量精通跨学科问题的专家。他们懂得如何把技术的这个分支与其它的分支联系起来。也懂得如何把技术与描述实际问题特征的各种非技术因素联系起来。我们已经开始有了在数学、物理学、化学、工程学各分支学科、社会学、经济学、政治科学、生理学、商业金融、教育和管理各方面学有专长的个人组织起来的好的“系统队伍”。这支系统队伍懂得集思广益，从许多不同的

角度来解决问题。这一点很值得强调，因为人们常常以为系统方法仅仅与熟知技术细节而对行为科学、社会学和其他非技术性的考虑却一无所知的一批狭隘的专业工程师有关。对系统方法的这样一种看法是完全错误的。系统队伍的个别成员可以是专家，但作为一支队伍来说，它必须有与问题相匹配的广泛人才，否则根据定义，它就不是一支系统队伍。

2-2 好系统和坏系统

最近几年美国的国民生产总值实质上将超过一万亿美元。这意味着在七十年代的十年期间，我们购买的所有产品和各种劳务的总值达十万亿美元，上下差不了几十亿美元。其中足有总数的百分之十，即一万亿美元，代表民用系统——运输、城市建设、污染控制、医疗和教育设施等等的工作。这笔巨额支付对社会的真正价值可以很不相同，这在很大程度上取决于这项工作计划是否作了适当的选择，有没有良好的组织和有效地完成，应用科学方法和完善的技术，首先把注意力集中在技术和社会

的接口——这正是系统方法力图实现的——将起着重要的杠杆作用。应用系统方法所付出的代价比起它的成就来要小得多。

为了理解这种“杠杆”作用，让我们考察几个熟悉的系统，把“另打碎敲”、紊乱不堪的方法和系统方法加以对比，衡量一下各自的结果。

2-3 电话系统

例如，电话系统并不只是指我们手里拿着的电话机。电话系统是由人和设备严密组合而成的一个绵延数千哩的网络，使得整个系统中的任意两点都能直接通话。它包括整套设备、检修和维护服务、电话号码薄、发票账单、电缆、卫星、应急检修、总机站、公用电话和会议电话等。电话系统今天所以工作得如此之好，乃是因为从一开始它就被看作是一个系统而不是互不相关的独立元素的一个堆积。

让我们试想一下，由一系列累积起来的疏忽或忽视了系统要求而作出的偶然的错误决策，将怎样把电话发展成为一种随意的、乱糟糟的样子。假设

一些有事业心的工匠，在他的小后院车间里着手制造电话机并卖给你一台。你雇佣一位电工将你的电话机连接到与你相隔一段距离、而你又喜欢和他谈话的朋友那儿，或连接到你的医务所，或连接到一家商行。正因为市政部门修筑和保养马路，所以城市会沿人行道竖立起一些杆子，而且留下来给你的电工在它们之间挂设电话线。一旦杆子上的电线太多了，它就开始劈裂，而且有一些电话线失灵——对啦，这就跟在十分拥挤、坎坷不平的马路上开汽车没有什么两样。你的电话就象你的汽车似的，有时通、有时不通。

当你养成和你的朋友以及有事务联系的伙伴通话习惯时，那么你和他们还得不断地挂设更多的电话线。当然，不久就会有人注意到，这样挂设，电话线的根数就会限制电话服务的范围。例如，倘若你要使一千个人能通话，每个人都得与其他各个人的电话连接起来，那么就需要成百上千条电线穿进穿出每幢建筑物——如果你能把它画出来的话，每幢建筑物每个人就得用999根电线。

最后，一位有胆识的商人可能想起来要设立一个电话“总站”，让每个人支付一定的费用就同他那儿连接起来，这样，当你想跟别人通话时，他就

能以某种方式负责处理你与他人通话。这种中央操作站在较大城市中会有好几个在互相竞争，并先后象雨后春笋般地遍及全国。采用这种系统后，偶尔你还能向少数极偏僻地区叫长途电话。正象你偶然在繁忙的日子里，可以乘汽车通过曼哈顿，甚至还可能找到停车场一样。但是你不能听得很清楚，而且费用大得可怕。

在我们这样一个工业技术发达的社会里，对于迅速、灵活、经济、可靠的通讯实际要求迟早会不可避免地迫使电话服务变成好的系统实施。但是关键是，在这里系统方法从一开始就看出了是必需的。

2-4 私人汽车系统

对照起来，我们考察一下私人汽车“系统”。这个系统，当然不仅包括汽车，而且包括道路、备件、汽油、红绿灯、驾驶执照、车祸保险、露天停车场、交通法院以及整个系统运转所必不可少的其他许多子系统。但它未曾被设计成为一个和谐的、结构配合适宜的系统。这个系统正在发展。

其结果是这个系统并不能运转。每小时能行驶一百哩的汽车通常却在爬行，往往拥挤得动弹不得。该系统每天在交通运输方面浪费着千千万万个人时，耗竭驾驶员的精力，而且污染我们呼吸的空气。自第二次世界大战以来，美国已有一百万人死于车祸。如果从一开始，私人汽车系统就作为人和设备的合理的整体而加以设计，以满足个人交通运输上的要求，那么我们一定会节约不知多少时间与金钱，并挽救许多人的生命。

要强调的是，虽然我们之中每个人都可以对购买的汽车作个人选择，但这并不意味着我们可以选择个人交通运输的整个系统。汽车的有效性无疑是由制造商进行过适当选择的（否则他们不会是成功的制造商），但他们选择的汽车只是适应现存的系统。

多年来，私人汽车进入美国人的生活之中，随之而产生的随机的、偶然的、随意的方法倒很漂亮。一些公路已经建成，汽车库、汽油和备件等均能逐步发展。一般说来，每件事物都是由供求关系所引起的。然而，照现在来看，整个系统则是一个错综复杂的、不协调的、不配合的系统，在这种貌似独立而又交错重迭的情形下，想要改善这个系

统，几乎是不可能的。在大城市中问题尤其突出。私人汽车绝不能脱离大量的、快速的公共运输或空气污染、或城市改建和扩建的许多其他问题而独自加以考虑。

在这种情形下，倘若我们不把这些问题当作系统问题来解决，倘若我们不是围绕着总的形势并且认识到必需重视所有因素的话，那就不仅仅是降低成效的问题，而且将陷入一片混乱。让一位音乐家想演奏什么就演奏什么，即使在最坏的情形下，你还可以有一点你不注意听的东西。但如果让一百位卓越的音乐家自行其事，各弹各的调，其结果必定是一片嘈杂声。不仅是要求有效、省时、或经济，才使得我们要在我们的民用系统中得到和谐协调。这就要求我们在确有所得和一无所得之间、在悦耳的声音和刺耳的音调之间，在具有秩序井然的市容和彻底的、绝对的、最终混乱的市容之间作出抉择。

2-5 空运系统

如果你是一位常乘坐飞机的旅客，你就不能不

想到在民航中我们有时看来多么接近发生一场事故。某些基本变量的量值——旅客的人数、正要着陆的飞机数、待装卸的行李量、票台上的文书工作量、气候的恶劣程度——只要略微增大，这个已经遭到冷潮热讽的空运系统就将面临瘫痪的威胁。我们必须强调指出，一个空运系统远不止是飞机。它还要包括机场、行李、指挥、盲目着陆的雷达、空中交通控制器、通讯系统、机上维修人员、票务员、食品准备、训练学校和规章制度等。这些因素在一定的活动水平上相互作用，一旦超过兼容的限度，就会出现故障。

让我们举个例子。由于这种或那种原因，有一架飞机迟到了三十分钟。在已接近兼容限度的复杂形势下，复合效应就开始发生了。那架飞机已经错过了在运行图上例行的降落位置。现在很难对它照顾——在极端的情况下，几乎不可能满足它着陆的要求。如果自动地推迟其他飞机的飞行，那么这同一架飞机下次起飞时不再是耽误三十分钟，而是晚两个小时，因为它得等待正忙着准备其他飞机的维护人员。当旅客发现他们的起飞时间要推迟，就纷纷转移到竞争的航线上去。那怕塞进备用飞机，仍然会与其他飞机发生冲突。而行李搬运工则忙着要

将各人的行李运往新定的航线上去。

这就象一条狗突然窜入繁忙的高速公路上似的。第一位驾驶员突然紧急煞车，这就要求紧跟他后面的驾驶员停得更快以免撞上第一辆汽车司机，再后面的第三辆车的司机甚至遭到更大的挑战，而四、五、六、七号司机简直没有侥幸的机会。他们只能相互碰撞。

这样自然会出现一个问题。像这种因为失去控制造成拥挤而使系统停止活动的问题，能否采用系统设计中的安全系数而避免呢？正象汽车在公路上不应尾随太紧一样，恐怕我们也不应将空中运行安排得如此紧凑。但如果我们必须在一笔适当的投资限额内处理交通运输的高峰问题，那我们就很难不安排汽车一辆紧跟一辆，在交通出现高峰时，我们既不能置之不理，又不能有很多平行的小道。要建立留有活动余地的航空系统就更加困难了。空中交通有着如此众多错综复杂的变化因素，以致就每个元素来看，似乎已经打上了绰绰有余的容量，但只要对所有相互有关的各个方面不事先考虑并精心计划，仔细地、创造性地做好工作，那么这个系统在实际运行中仍会是非常接近饱和状态。你可以在很多方面慷慨大方，却仍然不会留有储备。如果你真

的照顾到高峰而成功地建设起过多的能力，那么你还必须预期到低谷，那时各种设备只是很少得到利用，而且许多昂贵的人力闲着无事可做。更重要的，你必须严格限制空运的总量。

美国的空运系统已经达到如此状况，若无更好的系统设计，我们就不堪维持它。奢侈地建设起高度过剩的生产能力是无法实现的，这不仅由于投资太多，而且还出现我们的城市该如何设计和居民如何生活的问题。从今以后，空运问题，必须作为一个整体来考察。所有的因素，都必须分别地和综合地给予权衡与注意，这样才能形成一个协调一致的、符合逻辑的、最优化的系统，各种资源才能得到最充分的利用。系统设计将分析各种情况出现的频率，并将给出明确的在费用和效益之间的种种定量的折衷方案。革新的程序都是为了获得最大可能的后备而使所有的各种关系优化的方式来加以评价的。

空运系统中，好的系统设计是不容易搞好的。其中包括许多独立自主的集团。但是倘若整体设计在未来不占主导地位的话，那么出现混乱的情形就会变成普通的现象。

2-6 美国的城市

时机也在我们社会的其他部门中流失殆尽。如果你要找一个由于系统问题处理失当而逼近分崩离析的例子，那么在典型的美国大城市里就有。住房、公共交通、种族关系、教育、垃圾清理、空气污染、水的供应、电力的可靠性、食品和材料的分配、犯罪、医疗保健、老鼠——名目繁多，不胜枚举。越来越清楚，在许多社区里，整个系统行将崩溃，正使我们趋于无法忍受的限度。最先达到那个限度的城市将开始被人遗弃。否则它就要停止成为一个有机的共同体。

无论我们是否以这样的眼光来看待它，城市总是一个系统。如果我们不把它看作系统，那它只不过会成为一个坏系统而已。

在今后的几十年内，当美国人口再增加一亿人时，无疑，我们既要建设新城市也要改建和扩建现有的城市。现在有些城市正在采用系统方法——对所有各种因素以及它们的关系予以适当的、有效的考虑——来进行设计或重新设计。这些设计不是完

美无缺的，但就社会方面和经济方面来说，都会是优越的。它们将提供更好的生活，更高的收入以及更大的社会稳定性。人流和物流以及通往生活服务的途径将与在那儿生活的人们的工作和生活方式互相配合。这样的共同体与正在衰败的城市比较起来，它对于坐落于其中的工商业将提供经济上的优越性。而在衰退着的城市里，情况就变得越来越难以应付。

2-7 医院系统

系统方法今天之所以变得如此生机勃勃还有另外的原因。没有一个好的系统分析作为第一步，在许多情况下，不可能鉴别出答案中的那些所以能变成为有用的组成部份。系统设计把这些组成部份汇总起来解决问题，它们共分三类：〔1〕设备和材料；〔2〕经过专业训练能阐明各种功能和程序的人；〔3〕存贮的和流动着的适当的那类信息，使得人和物都知道做什么和在何处做，才能使整个系统运转起来。如果不首先进行系统分析，那么就永远鉴别不了这些组成部份。因此就无人制造机器，无

人训练人员或设计信息流。

让我们来考察这样一个例子。在大医院里必须及时可靠地给医生提供有关病人的检验数据。目前采用搜索、存储和显示检验信息的电子系统来执行这一任务也许恰恰是最好的形式。这种很可能要有电子控制台的系统，使得医生能在方便的地方、也许甚至在每间病房里询问情况。类似的装置今天已为证券经纪人和飞机航线上预定座位的人员广泛采用。所以从技术上看来，我们知道，这种装置也可以很容易地设计出来为医院使用。

但严格地说来，哪一类逻辑框图对医院用来才是正确的呢？它的存储容量必须多大？它的显示容量又该怎样？它应放在什么地方？如何将它联结起来？这些问题不能仅仅由不了解医院情况的电子逻辑框图设计师来回答。对主持人来说，顺便走访一个医院，询问几位偶然相遇的医生或行政人员，问问他们想要什么和他们准备为此付出多少代价，那也是绝不会有什么意义的。关于一个尚未设计出来的医疗系统的这个特殊的单个的另件，谁也懂得不多，谁也说不出什么权威性的意见来。

你必须先设计系统，然后你才能设计这样的一个组成部份。你不能在含糊不清的或所猜想的种种

技术要求的基础上进行制造，然后又把你的产品拿到并不存在的市场上去销售。这就象谱写一首还没有写出来的交响乐第二乐章中的双簧管部份一样。

2-8 东北走廊

另外再举一个规划的例子，它表明在我们获得各组成部份之前，系统方法就必须做向导。现在美国联邦政府已经在解决这个国家居民最集中地区，即波斯顿和华盛顿之间的东北走廊上的人口转移问题。东北走廊拥有美国总人口中很大的一部份并占美国全国工业的绝大部份。这个地区，只要优良的运输系统得不到发展，那么就会经常出现大的交通中断、严重的阻塞、社会混乱，最后结果妨害国民经济的增长。

没有一项透彻的系统分析，甚至祈求减少问题也不可能。在未制定出整个计划并以足够的深度使所有因素之间的关系明朗化以前，我们绝不会有新的火车、引擎、轨道、电子计算机控制装置、通行权、支线、售票房以及必须发行的债券。

照目前情况来看，仪器设备的制造商并没有一

个销售他们产品的明确的市场。直至他们有一个好的可接受的系统设计之前，他们甚至不会真正懂得要制造些什么东西。这样一种设计必须考虑的不仅仅是人们如何生活、工作和运送他们自己去生活和工作的方式，而且要考虑这些方式在未来将发生怎样的变化，以及它们由于所选择的未来运输系统实际上一定会发生怎样的变化。当然，如果不管飞机和私人汽车，我们也就无法考虑铁路和公共汽车。必须估计地面运输和空中运输、公用运输和私营运输各种不同组合的费用和效能，以及整个环境的影响。

譬如说，采用单轨铁路就能在相邻两个城市之间迅速迁徙，如果这个系统设计尚不够完善，没有考虑到以切合实际的方法把你从你家运到车站，那它又怎么能算是好的呢？如果从家到车站必须使用私人汽车，那么当你到达车站时，最好有一个停车场。

还需要考虑让高速地面运输线通过某些今天人口尚未密集的乡村地区。这将促进那些地区的人口逐步发展，并可最大限度地减少那些费钱较多的改革，要是不能增加那些偏僻地区的人口，则这些改革在现存的城市中就势在必行了。但乡村道路也许

并不象在现存城市中的那样好。这里又该怎样比较评定呢？

甚至在两个答案之间建立比较的标准也是一项困难的工作。一个运输系统为居住在该地区的人们服务，但人们之所以愿意住在这儿，在一定程度上正因为有了这套运输系统。倘若不研究这些基本参数中某些之间的相互作用，怎能切合实际地判断应该使用多大的旅客车辆以及应该用何种速度运行呢？怎能决定该系统的全部能力应该多大？怎能提高不管是哪一方面的性能呢？又怎能对全部设备、控制装置、通风系统、终端、售票系统——即整个工程的科学描述详加说明呢？

幸亏波斯顿—纽约—华盛顿联合公司的领导人员从一开始就已经理解到系统方法的效用。在他们继续进行系统分析和系统设计过程中，他们已经把潜在的部件供应者送进正在考虑整个系统的智囊团中。

2-9 电子计算机的节奏作用

用系统方法解决许多社会问题越来越显得重要

的另一个原因，是这些问题的解决不可避免地要用到先进技术中意义重大的组成部份。人类正处在这样一个历史时期，在任何我们致力的领域中，几乎一切任何大而复杂的问题，一般地说来，最好都是以一种巧妙的配位安排人和机器来加以解决。无论我们的任务是设计一条公路，一个股票交易所的信息系统，一个保险公司的数据库，一个警察局的通讯和控制系统，一个医疗中心，一个大学图书馆、或者整个一座城市，都是采取这种方法。

近年来，一个特别中肯适宜的技术领域，即电子学，在系统方法中的应用获得了巨大的发展。利用电子设备我们能一下子存贮和处理非常多的信息，并仍然保持井然有序、正确可靠，在十年或二十年前要拟定、建立、运转能完成这些任务的系统，是完全不可能的。

例如，倘若航空公司不能用电子计算机几乎即时预订机票，那就完全不可能乘喷气机旅行。如果什么都得靠手写出来并直靠人对人联络来行动，那么登记座位所花的时间就会比飞越这个国家的时间还要长。

东北走廊运输系统是另一个例子。这里切合实际的系统分析要求估计由地面和空中将人运送数百

哩的各种可能的方式，不仅包括常用的工具，而且包括单轨铁路、自动化的地下隧道，围以栏杆的特殊公路上的大型新式揽客汽车。以及采用先进技术的其他各种设施。如果没有深入研究即将来到的新技术，这样一个系统就不能得到完善的分析。

同样地，凡是现代城市要想创造一个合理的交通运输系统，能使最大数目的人以最安全的方式、在最短的时间通过街道，现在就必须考虑各种最新的技术，包括用连结交通检测装置的电子计算机同步红绿灯的可能性。

甚至现代警察部门，今天也可以使用电子计算机来改进他们的工作程序。为了使每个警官达到防止犯罪的最大有效区，在合用的汽车上安排得力的警官，这乃是警察局的一项极其困难的职责。对电子计算机来说，监视警车却是一件轻而易举的事。工作周密细心的系统工程师与精通警察业务的专家密切合作共同工作能够编制计算机程序使得当某些警车作出响应开往出事地点时，其余的警车就会直接向新的战略位置出动。这些位置将在统计的基础上进行选择，以提供最好的新分布。如果这项工作做得好，就可能以同样的支出达到更多的警官和更多汽车巡逻的效果。这种系统是不是实际上改善了

警察局的业务也许会有争论，但是，如果警察要求把它放到适当的位置上去，甚至想要判断新技术可能的使用价值，那么就需要好的系统工程。

可是，我们为其他目的运用计算机之前，已经有了一个最好的实例，就是医疗中心。电子计算机和其他电子设备可以革新医院设计和医务工作的许多方面。由心电图描记器或由新陈代谢测量仪得到的结果可以直接输入电子计算机系统中存储起来，而且以后可以立即检索。同时，所作的检验可以在会计部门登记，并由那儿直接开出账单。病人的心搏、体温、呼吸以及其他情况都可以在他的病房内用监测装置来测定，而这些结果可以在能连接观察大量病房的中央指令站用电子学方法显示出来。甚至利用电视装置可以连续不断地监测病人的一般徵兆。电子计算机能处理好编排各种检验设备操作日程表，可以缩短在X光机前面的排队时间。对药房和其他物质供应单位，用电子库存控制系统能保证以最少的存货投资就可以最可靠地提供一切必需的供应。

2-10 运用系统方法

设计规划任何一个系统时，都必须邀请在应用最新技术方面有经验的人。为了能做出一个好的系统设计，精干的系统队伍必须有这样的技术人员，正象他们之中必须有经济学家和心理学家一样。但是，认为一切优秀技术人员都善于运用系统方法，那就错了。在每个系统中都充斥许多非技术问题。而且，系统方法需要灵活性、想象力和经验来使技术的与非技术的问题密切配合。只有当这种配合作得很好时，系统方法才算真正得到了应用。

就系统分析仅仅包含运用客观性、逻辑和智慧而论，不用这种方法去解决每个问题，那是不可宽恕的。但是，正规的专职的运用系统方法——这是专业系统工程师队伍所从事的工作，当有意识地采用系统方法时，就蕴含着夸大问题和方法论这两方面——可能被人误解和过度宣传，以致对重要问题得不到满意的解决。专业的系统工作，既是一门科学，也是一门艺术。

下面谈一下运用系统方法时，实际上我们应围

绕多大范围来考虑问题。譬如你开始规划一座新医院，你就要考虑医疗实践中的各种变化、政府政策（医疗保险制度等等）的变化，社会富裕状况的变化，该地区人口增长情况以及居民的一般健康状况。你首先看到的似乎有这么多的因素直接影响系统，如果你实际上真的要十全十美，那么你就会发现自己是在试图预言该地区全体居民总的生活式样。但这个地区受到周围地区的制约，又受到国家的制约，而国家则受到世界的制约。寻求包罗问题的所有各个方面而走向极端的这样一种方法，是十分荒谬而不切实际的。

围绕一个问题想得太宽阔，硬要做得完美无缺，那是非常拙劣的系统工程。最优化毕竟是系统方法中的关键概念之一，问题的确定要包含如此众多的因素，以致需要化上十亿美元和二十年的时间方能搜集到所有的事实，那几乎不是一个最佳的解决问题的办法了。

一支熟练的系统队伍总是围绕住问题并将注意力集中在那些关系较密切而又最有意义的因素上。当问题进行分类时，那些看来很少有直接关系的因素就越来越降到次要的地位，一方面是由于对它们缺乏适当的了解，另一方面是因为不这样做我们就

根本无法前进。

但是，有没有需要运用系统方法，而问题本身却太大以致不可能用系统方法的那种情况呢？美国的整个经济系统就是一例。

虽然这个问题很大，但它确实是个系统——人、物、信息和金钱麇集配合，统统包括在内，形成一个极端复杂而又互相连接成决定全国经济生活的网络。不管你设计不设计，分析不分析，系统总是存在的。

现在对美国联邦政府来说，修补这个系统显然已成了公认的实践。我们所有人都要求摆脱严酷的商业周期，摆脱经济萧条和通货膨胀，摆脱失业，政府可以采取多种方式来影响这些事情。列举几项：可以修改政府开支，控制利率和货币供应，修改税收、控制许多物品的生产、储备材料、更改关税率，规定各种公用事业的价格率、资助工业和服务行业、规定能在市场上出售的黄金，按计划分配资源、制定最低工资标准，把政府的各种设施安置在国家所选择的地方、规定飞机航线和运费，影响劳资双方的谈判等。

所以经济问题是一个系统，而且在某种程度上，它总是致力于满足各种各样的目标。但每当系

统中出现某些毛病时，关于政府可能采取什么步骤以及这些措施将会产生怎样的效果，在专家们之间立即就会有许多很不相同的意见。

如果在电子计算机上整个系统有一个非常准确的数字模型，那么我们事先就能确切知道要做些什么，而且在做这些事之前就知道它的效果怎样。因为每个人都会接受由这种充分应用系统方法而得到的符合逻辑的、最优化的答案，于是我们可以选择最好的行动方针。

遗憾的是，这不可能做到。首先我们甚至连很小一部分有关的事实也不能搜集齐全。更何况，这毕竟是个相当大的系统。我们几乎必须认真对待分别作出贡献的每个人和每台机器。但是，即使我们能用魔法召来所需要的一切统计数据，我们的系统原理知识也是不适用的。我们还没有充分理解通货膨胀、失业、价格、工资、利率、税收以及其他关键因素之间的基本经济关系。

另一方面，我们并不是样样齐全，我们只有一部分必需的信息。我们真正理解的只是主要因素之间相互关系的某些关系。近百年来，经济学家们已经取得了相当可观的进步。现在电子计算机早已问世，并已用来处理重要的经济数据。迄今正在作的

一些尝试获得了重大的成功，至少对一些重要因素的相互关系建立了数学模型，并能运用这些模型进行预测，譬如可以把下年度的国民生产总值看作是管理措施和其他行动这种可变假设的函数。经济理论界的领导者和在自己的工作中需要这些结果的那些人，都越来越认真地进行了这些尝试。

所以熟练的系统队伍现在能为我们提供有一定逻辑性和客观性的问题之某些部分的答案，我们不应当仅仅因为我们还不能控制整个经济系统而不加利用。我们有了一个对我们极端重要的系统，并且我们已经被迫要用行动来改造它。那么应当肯定地说，我们宁要逻辑，不要不合逻辑；宁要事实，不要臆断；宁要客观性，不要情感上的或政治上的预感，而且开始照此行事。

幸亏，我们今天需要解决的大多数实际生活问题比起美国经济问题来要小得多。实际上多数大问题都可能分解为一个一个小问题，并且最终可以达到能使系统方法有收获的结局。如果我们注视一下东北走廊上城市间的交通状况，定会感到遗憾，我们不能完全预言在2000年人们的生活习惯，但是，对五、六种在那个地区运送旅客一百哩的运输方法进行比较，并且看看在我们可以想象到的任何一组

情况下，这些方法中是否有一种比其他的要优越，这仍然是有用的。由此，我们至少可以利用这种了解作为制定更好决策的指南。

由此可见，大到不能用系统方法的系统是没有的，正如没有一种大到无法进行实际有效治疗的流行病一样。尽管总的成功我们尚未取得，我们也不应抛弃这些能给予我们部分帮助的工具。

系统方法是打通难关的开拓者。系统方法用得越多也就越容易得到应用。在决定办某件事将花费多少钱时，系统方法往往是第一步。它有助于清楚有力地表达那些以前也许只是含糊理解的目标。因为系统方法是逻辑的定量的方法，所以它能提供对比并告诉你得失情况如何。它能揭示一个被推荐的系统怎样才能适应现存的社会管理。

多数的民用系统问题都是复杂而有争议的，并纠缠着许多相互矛盾的目标和相互冲突的利益。在以某种方式达到新的相对稳定的客观性和扎扎实实说明所做的选择、并弄清楚这些选择的后果会怎样以前，常常什么事也不能做成。这恰恰就是系统方法所要做的一切。因此，在许多人必须在一起工作的社会里，当行动成为可能之前，系统方法鼓励采取行动。

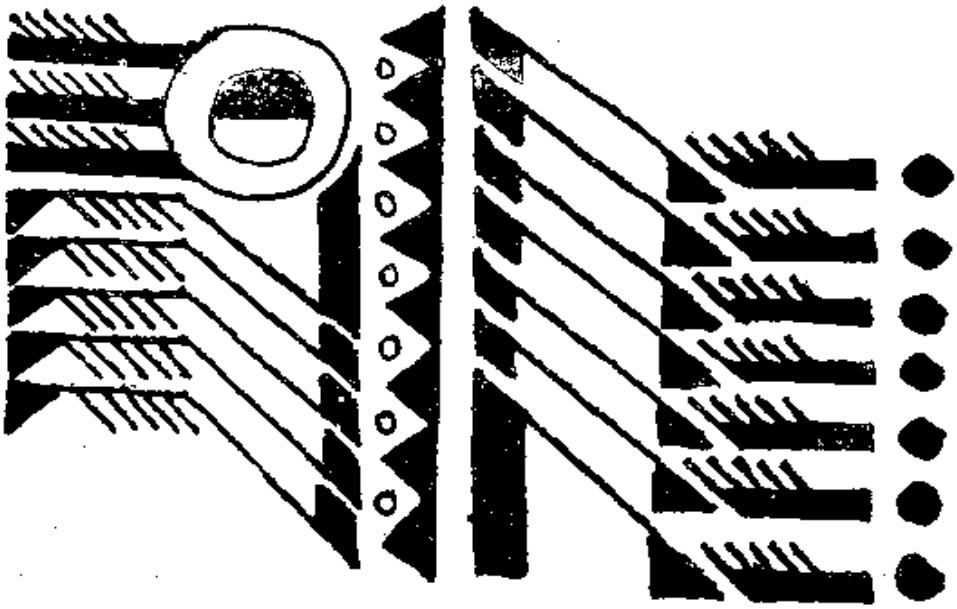
另外，在我们的社会结构中系统分析能促进机构改革，这对我们能够妥善处理尚未解决的问题通常是很需要的。凡是好的系统解决办法都包含着控制和协调的程序。这些程序必然也提出最有效地解决问题的组织结构类型。所以，成功的系统工程将会导致人们创造一些不能用其他方法设计出来的新的组织体制。

例如，一个真正好的系统分析就可以说明如何能使主要河流不被污染。可以显示某些行动方案在规定的费用条件下具有的利弊。如果多数受到影响的居民接受这一计划，那么他们显然应该产生某种机构来执行计划。而非常详细的系统分析将会指明这种机构应该是什么样子，它需要什么能源和多少基金，它必须如何与有关当局打交道，以及如何取代其他机构等等。除非已经完成了系统分析，否则任何人也搞不清楚需要什么样的新立法，需要发行什么样的债券等等。系统方法在这里可能是打开难关的开拓者，指明行动的道路。

系统方法至今仍然是一门新的很少为人所理解的、而且未得到充分应用的学科。要在足够大的规模上用系统方法来改变技术进展和社会滞后成熟这两者之间的平衡问题，也许还得十年时间。但在这

十年左右的时间中，公众、美国国会、地方政府以及工业和科学的领导人，或许会全都信服系统方法的价值和重要性。大概就在那个时候，我们将面临着一个新的障碍：缺少好的系统工程师，当然包括系统队伍中的非技术人员——经济学家、政治科学家、心理学家和社会学家。这项工作是困难的。要把技术专家和非技术的专家组成一个具有所需才智和想象力的工作组，还不能象我们所希望的那样迅速地进展。

想到这样的时候，仍然是令人愉快的，那时，妨碍应用逻辑、客观性和各种科学工具的只是缺少足够的训练有素的专职人员，那将是黄金时代的开始。一旦绝大多数人坚持用逻辑的和客观的方法来解决社会问题，世界就会好得多，并且科学和技术可以最充分地用于造福社会。



第 三 章

大规模系统工程

R·麦克霍尔*　　R·迈尔斯

*罗伯特·E·麦克霍尔（ROBERT·E·MACHOL）
西北大学管理学研究生院系统学教授。

3 系统思想

3.1 系统的定义

已经著述了许多关于系统工程的书籍，每本书的作者都碰到要给“系统”这个词下定义的问题。但所下的这些定义并非完全都是一致的。而在最近的将来也不会出现可以为大家普遍接受的定义。最多只能要求作者勾画出他正在论及的领域，使得读者能对他们共同感兴趣的领域有所了解。

举个例子，约翰逊、卡斯特和罗森茨韦克对系统定义如下：“……按照计划为完成特定目标而设计出的一列组成部分。”这个很普遍的定义，事实上，对我们的要求来说那是太笼统了。这一定义包括了我们并不认为是系统的内容，或者说它包括的内容与我们的系统概念很少有什么关系。

以下所说的仅限于人们感兴趣的那类系统的典型特征：

1．系统是人造的，它把设备、计算机软件、程序，诸如此类的东西结合起来。这个定义不考虑蚁冢、江河流域、宇宙以及许多其他有趣的"系统"。

2．系统具有整体性——所有的组成部分都有助于达到一个共同的目的，由给定的输入产生一组最优的输出。在系统设计过程开始的时候，我们往往并不知道这个目的是什么，怎样来定义最优，甚至连输入的性质也不知道，而阐明这一切正是这项任务的重要内容之一。严格应用这个标准，那就要排除城市系统，实际上，几乎所有的社会系统都被排除在外。

3．系统是庞大的——无论在不同部件的数量上，相同部件的重复上，或许在所要执行的功能上，当然还有在经费上，都是如此，因此诸如汽车中的点火装置系统那样一些东西就被排除在外。

4．系统是复杂的，这就是说，系统中一个变量的变化将影响许多其他的变量，而且这种影响很少呈线性形式，换句话说，这个系统的数学模型是复杂的。这就把那些仅仅是庞大的系统，诸如桥梁或公路（不考虑行人车辆的活动）排除在外。

5．系统是半自动的，这就是说，机器和计算机执行这个系统的某些职能，而人则完成这个系统

的其他职能。庞大的、完全手工的系统（由奴隶建造的金字塔，或者用许多办事员们维护的大型数据库）被排除在外，因为它对我们的利益来说效率太低。太型、全自动的系统也被排除在外，因为这种系统或者不存在，或者只是作为基本上还是人—机接口的更大系统的子系统而存在。

6. 系统的输入是随机的，因而无法预测系统在任何瞬间的确切负荷或运行情况。在某些情况下，输入速率是可以预报的（如在自动化工厂中的情况），然而，即使是这样，由于环境和原材料这类事件不可预言的变动性，在设计中还是有不少困难。

7. 许多系统，尤其是最复杂的无所不包的系统都是竞争性的。在军事系统中，一个有理性的能起作用的因素（敌人）总是设法破坏或降低这个系统的效能，商业系统中通常的竞争，公共服务系统中的欺骗或单纯的不合作，都有着相似的作用。

应该了解这些特征中没有一个是必要的，也没有一个子集是充分的。要把系统与非系统截然区分开来，现在并没有被普遍接受的定义。十年前，我们谁出"系统"这个名称，从上下文来看，通常只是用于技术系统，而今天这个术语已经推广到民用系统和社会系统。

一个看起来可能适合简单分析的系统例子也许就是洲际旅行的运输系统。人们可以想象出许多可供选择的系统，从坐轮船一直到乘火箭，但是我们假定以旅行时间最短，花钱最省和技术上的可行性等作为标准，则决定最佳的选择方案应该是乘坐大型的波音747喷气式客机。

不过，这个系统并不只是由波音747飞机组成的，开飞机需要驾驶员，接待旅客需要女乘务员，地勤人员必须准备飞机、装载行李。另外，飞机必须在机场上起飞、降落。飞机在一条航线上飞行时，要有把握不会遇到其他飞机。所有这些都需要有设施、人员和工作规程。旅客人数和飞机上的座位数不会象变魔术那样刚好一一对应。这就需要有一个预订飞机票的系统，亦即我们的运输系统中的一个子系统，来保证飞行时乘客人数适当而不至太多。

所有这些活动必须由一个组织来经营管理，由它操纵和维护飞机，并保证适时地有恰如其分的工作人员、供应品和设备可以利用。要真正管理好这项业务就必须根据过去业务方面的大量资料和未来发展趋势的指标，提前几年作出对未来各种需求的估计。

最后，还应该有数量合乎要求的几个机构来考

虑全部投资和收益问题。这种机构在基层同航空公司的股东和管理部门有关。而在上层则同中央政府或几国合资的国际财团有关。正是他们应该提供这个系统的总目标和决策标准，并在国家投资和私人投资之间、方便同业务效率之间、考虑用户同考虑非用户之间以及利润同安全可靠之间，作出困难的权衡。

因此，开始看起来似乎具有明确界限的简单技术系统，但经过更严格的考察，它却成了一个贯穿于许多更大的系统的子系统，而系统目标则是如此复杂，以致象“收益是否等于所耗费的资源？”这样的基本问题，我们都很难指望得到完整的答案。

3-2 系统设计

我们来考虑一个系统的设计。有人给你一亿美元，请你帮助搞一个系统，管理空中交通，或连接七千万架自动拨号电话机，或者完成某些其他的职能。下一步棋你将怎样走法呢？

这样一个系统的设计者立即面临着一种进退两难的境地。如果想一下子全面解决这一大规模的系

统设计问题[illegible]势必手足无措；但如果只是一点一点的去做，那么看来也不会成功。这个设计者的出路在于能按某种方式把问题划分为可以分别处理的各个部分，最后，这些部分又能以简单的方式重新联结起来形成总的系统。这种划分可以根据若干在概念上不同的方法同时进行。尤其是以下这几种方法：

1. 按系统设计的逻辑步骤划分；

2. 按系统设计时间顺序的阶段划分；

3. 按系统的各种功能划分；

4. 按系统的各个组成部份划分。

在第一章中，列有拉尔夫·迈尔斯编制系统设计程序的步骤如下：（1）目的定义或问题表述；（2）拟出目标和标准；（3）比较方案的综合；（4）系统分析；（5）系统选择以及（6）系统实现。这些就是系统设计的逻辑步骤，但很少能按这样的顺序进行的。从逻辑上说，在解决问题之前就应该系统地陈述问题，事实上，在系统设计的全部过程中我们同时执行这两种职能。因为，在未能很好地理解问题之前就不可能恰当地提出问题，而在没有多少解决一点问题之前也就不可能很好地理解问题，两者是不可分的。因此，设计任何系统总要经过反复迭代，设计者提出问题，解决问题，再提

出问题，如此循环不已，而每一次循环都产生一个更加精确的、更好理解的和原则上更为优化的系统。

系统设计时间顺序的阶段可以按定义、设计、实现和运转这种顺序来排列。定义阶段包括分析要求和选择标准，在系统层次上产生一系列可行的比较方案，以及分析最佳的选择方案。当选择了一个系统的比较方案并对所选择方案的性能、费用、日程、风险、必要的技术开发、系统的寿命、同其他系统的接口等等有个大致了解时，系统的定义阶段也就结束了。

设计阶段从定义阶段所得到的成果即一个大致说明了的系统出发，接着定义、设计和分析这个系统，一直到把这个系统完全创造出来的全部文件都有了为止。实现阶段能使系统变为现实。这个阶段包括部件和材料的取得，硬件的加工和安装，计算机软件的编制和定型，以及全体人员的训练等。实现阶段是以确保系统正常运转所需要进行的系统级试验或评审过程而结束的。运转阶段从系统为实现其既定目的而第一次得到应用开始，并继续到系统生命周期的结束而最终淘汰为止。

尽管从逻辑上说这些阶段互相衔接，但实际上

前后阶段经常会有某些重叠。在一个系统生命周期按时间先后顺序划分的阶段中所允许的重叠程度，取决于系统实现的速度同关于费用——效果和最小风险的要求这两者之间的权衡考虑。大型军事系统就是这两种基本原则同时作用下产生的，问题的双方都有拥护者和反对者。

按职能结构划分系统往往是很方便的。美国国家宇航局（NASA）将它外层空间通讯网络分为六个职能系统组，这六个职能系统组直接沟通了国际上的、行政上的、以及设施上的分界线。这六个系统是：跟踪、遥测、指令、模拟、监视和运转控制。医院将它们的工作分为职能不同的服务机构，诸如外科、内科、小儿科等等。

按照系统的有关组成部分来划分系统，恐怕是最明确的方法。然而，即使是如此也必须认真小心，才能做到一种分类有助于而不是有损于设计者的成就。自然的和令人满意的界限应该处于通过接口而相互影响又最少的那些点上。若按零部件类型，把一个复杂的电子仪器系统的设计成果细分为，譬如说，电阻子系统、电容子系统等等，这样的划分即使对零部件的采办阶段来说可能是最合乎情理的，但也应该说是绝对愚蠢的分法。

这四种划分方法——按逻辑的、按时间先后顺序的、按职能的、按组成部分的划分——往往融合在系统设计过程中，就象下面这句话所阐明的那样："为设计（按时间先后顺序划分）通讯线路（按职能划分）中的一台发射机（按组成部分划分）规定性能要求（按逻辑划分）。"

假定我们以这种方式顺序地做下去——以方便的、富有成效的方法来划分问题，然后通过综合和分析的过程，再把它们重新组合成一个新的系统，这个新系统要比迭代之前的老系统更优化——那么就会出现这样的问题，"究竟做到哪一步才能停止呢？"或者说这种迭代是否会没完没了无限地进行下去，而每次循环是否都能增加一点最优性呢？当然，人们应该认识到，设计系统时必须把它纳入更大的系统中来加以考虑——后一个系统包括在设计过程中耗费的各种资源。现在问题的答案就清楚了。当一次迭代的边际利润不超过这次迭代的边际费用时，那么设计循环中的迭代就应停止，因此，我们总结这一节内容，可以用一句表面上看来似乎矛盾的话来说，就是，没有一个最优设计的系统是最优的。

3-3 系统设计的原则

系统设计的基本原则简单地说就是求最大的期望值。显然，这种说法在任何一个特定的情形下都需要做很多的解释，至少期望值要有个简单明了的定义。在我们选择某物的供应量太多（结果造成超支）或太少（如验明是数量不足则有受罚的可能性）的地方，这条规则给出了一条可遵循的准则，并且在设计过程中要继续去做这类事情。

这样我们就有了权衡分析法。举例来说，对一架飞机，我们可以把增加起飞功率（可能增加有效荷载能力）和降低燃料消耗（可能减少有效荷载能力）加以比较。在这样一种双参数分析中，从理论上说，这只是求极大值。在复杂系统的情况下，我们必须与几十个其他参数打交道，用两两比较的方法是完全不合适的。这就导致"成本效果研究"，在这种研究中，我们固定成本而试图把系统的效果（或系统的期望值）达到极大，或者固定的效果求出极小的成本。因为一般地说来，要求出一个简单的数字实际上代表复杂系统的效果，那是不可能

的，在系统工程中，有如判断所表明的，存在着大量主观性，也有如分析所代表的，存在着许多客观性。

次优化原理是说，每个子系统各自独立地最优化一般不会导致系统的最优化，而且改进一个特殊的子系统实际上也许会使整个系统变得更坏。既然每个系统只不过是某个更大系统的子系统，那么这个原理就提出一个困难的、即使不是不可解决的问题，这一难题在一些较重要的系统设计中经常会出现。下面有一节我们将进一步讨论这个问题。

集中原则涉及到权力和决策的集中，就是说，集中信息而不是集中物质材料。大多数组织是依下面的原则建立起来的：由基层组织处理各种常规投入的资金并向上级领导报告，如有必要，上级可以否决特殊的决议或改变一般决议的方针（有时这称为“异议管理”）。非常规的决议都交给上级决定。而这项非常规的决议有希望成为一项方针政策，从而未来的类似决议就成为常规的决议。只有当要求作出决议的迅速程度超过可以把信息送到上级机关并在那里作出决定而返送回来的迅速程度时，才会发生困难。因此当通讯速度和决策的速度提高时，集中的缺点就会减少。在我们的复杂系统

中，由于计算机、通讯、显示以及决策理论的改进，使得在集中和非集中之间的连续体中的最佳情况，越来越趋向于集中的方向。

低概率事件的原理同下述事实有关，没有一个系统能够对于所有的人，在所有的时间内都是完全适合的。这个原理说明，为了使系统适应概率极低的事件，不仅系统的基本使命不应该受到危害，而且它的基本目标也不应该遭到重大的损害。尽管事实上将导致系统非常复杂以至不可能运转，但人们还常常听说“最琐碎的细节可能成为打开整个智慧想象的钥匙，因此系统应能存储和处理各种可以想象的情报输入”。换句话说，“在散兵坑里的士兵可能迫切需要得到空中侦察的情报，因此，全部数据处理系统必须装在飞机上，还要装上空投设备以便把加工过的数据空投到前线”，尽管飞机运载数据处理设备所增加的重量事实上将严重地危及侦察工作的完成。系统工程师可以同情散兵坑中的士兵和对士兵的需要很敏感的指挥官，但是他必须坚持合理地遵从使系统期望值达到最大这个基本原则。

在许多系统中，折衷处理是可能的，系统可以设计成能自动地处理大多数事件，每当一个非常事件发生并超过了它的容量时，就会发出警报呼唤人

来干预。例如一个自动邮件分拣系统，将扔出那些形状大小不标准或地址书写不合规格的信件由人工分拣。这样一个系统可以自动处理95%的邮件，在费用方面它比100%人工处理要少得多，而比100%自动处理就少得更多了。与此相似地，当你使用（自动的）长途电话碰到错号时，那你只须呼唤接线员来（人工）改正错误就可以了。

3-4 系统工程的各种模型

一个模型，从原则上说，就是实物的替身。模型都是通过分析获得知识的工具，又是传递信息的手段。有许多理由，其中任何一种都可以成为用模型代替实物的理由，经济——由模型获得知识可能费用要少些；有效——模型可以代表一个尚不存在的系统或者不能操作的系统；信息——模型可能是一种收集信息或传递信息的便利方法。模型之所以成为系统概念的一个重要组成部份，是因为在设计和分析大型复杂的动态系统中，经济、有效和信息都是重要的因素。

把对系统设计和系统分析有用的模型加以分类

有许多方法。我们将要考虑的有三种：仿真/符号，结构的/经验的，描述的/规范的。

仿真模型是按功能或形式来复制一个系统。一幅图样可以说是一个系统的仿真，因为它看起来就象这个系统。模拟计算机对一个系统进行仿真时，它的各个参数如同这个系统一样，具有相同的时间关系曲线。系统检验程序是运行状态的仿真，它对这个系统功能和环境的接口进行仿真，而这个系统就按它的运行方式进行试验。

符号模型对于这个系统没有物理上或功能上的任何相似之处。符号模型使用观念、概念以及抽象符号来表示一个系统，即用文字、图表或数学这样的形式来表示系统。为一个系统提供的文件理应表述一个符号模型，如同系统运行的数学表示那样。一个模型可以既是仿真模型，又是符号模型，取决于构模的观点。复杂系统的计算机程序显然是符号模型，但由于它们对系统的许多参数进行仿真，而且在某些情况下，确实可以复制成系统的软件部分，所以往往称为仿真模型。

另一种系统模型分类法把它们分为结构模型或经验模型。如果模型的参数和功能关系直接跟系统的元素对应，就称为结构模型；如果要调整模型参

数后模型才和系统相对应，而参数本身跟系统的元素无关，则称为经验模型。系统响应的泰勒级数展开或数据的线性回归分析，理应都是经验模型的实例。

还有一种重要的分类是区别描述模型和规范模型。描述模型描述系统而不对系统的价值和系统的性能作任何评价。规范模型则描述一个系统如果满足某些最优化标准，它应该是怎样的系统。系统能力的设计要求或合同说明出可以代表这个系统的规范模型。一个系统的描述模型在何种程度上相当于规范模型，是衡量这个被描述的系统最优性的一种尺度。规范模型对系统设计和系统运行提出目标，不管这些目标事实上是否可能达到。

一个系统的简单数学模型可以用一个输入集和一个输出集之间的变换来表示：$y=S(u)$（图3—1）

这个简单的模型充分说明在构造数学模型中的

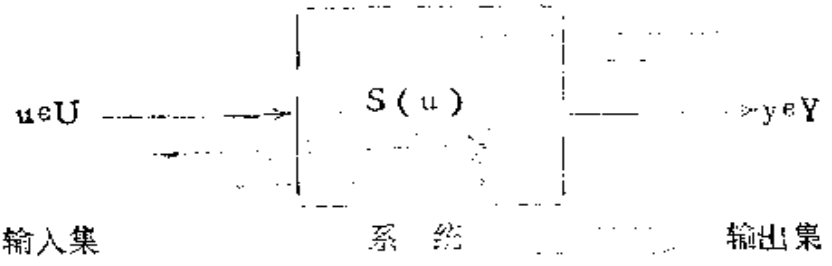


图3—1 系统的数学模型

一个重要概念，就是将数学模型划分为线性系统和非线性系统。

仅当系统的输入集和输出集可用线性矢量空间中的元素表示，而且叠加原理对输入集和输出集之间的系统关系有效，也就是说，这个系统对于一组合成输入的输出跟对于单个输入的输出之和相等时，这个系统模型是线性的。更确切地说，对于具有两个输入u_1和u_2的线性系统来说：

$$y = \alpha y_1 + \beta y_2$$

这里

$$y_1 = S(u_1)$$

$$y_2 = S(u_2)$$

$$y = S(u) = S(\alpha u_1 + \beta u_2)$$

α，β均为标量，用图形表示见图3—2。

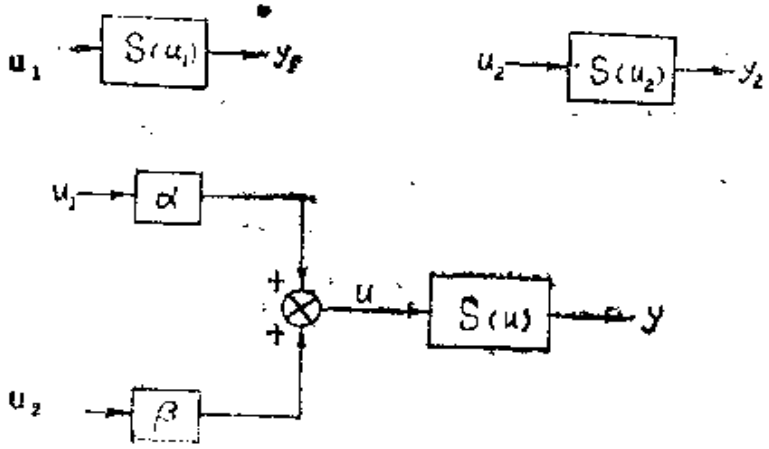


图3—2 叠加原理示意图

有许多理由使线性模型的数学方法成为系统分析的一个重要组成部份。许多系统是线性的，而且许多非线性系统在系统参数的限定范围内呈现出线性反应。线性系统理论应用最广泛，而非线性系统分析往往必须在特定的基础上才能应用、所得到的结果并不能推广到广泛的系统种类。最后，线性系统理论在概念上比较容易理解，而且它事实上构成许多非线性方法的起点。

如果系统的内部特性作为时间函数或先前输入的函数而变化，那么系统的这种特性称作系统的状态。一个电路的状态可以用电路中的电能量，即电容器上的电荷量和通过电感器的电流量来表征。经济的状态可以用有效的劳动力和正在运转的设备以及种种业务工作来表征。这样一种经济的产量可用国民生产总值来表征。

具有内部状态的系统的一般模型可这样得到，把内部状态对时间的变化率表示为内部状态与外加输入的函数：

$$\frac{dx}{dt}=f(x,\ u)$$

$$y=g(x,\ u)$$

其中x为系统状态，u是对系统的输入，y是系统输出或系统的可观察量。对线性系统来说，这些一般

的系统的状态方程简化为：

$$\frac{dx}{dt} = Ax + Bu$$
$$y = Cx + Du$$

如果用图形来表示这些线性方程，给人的印象就更加深刻了（图3—3）。

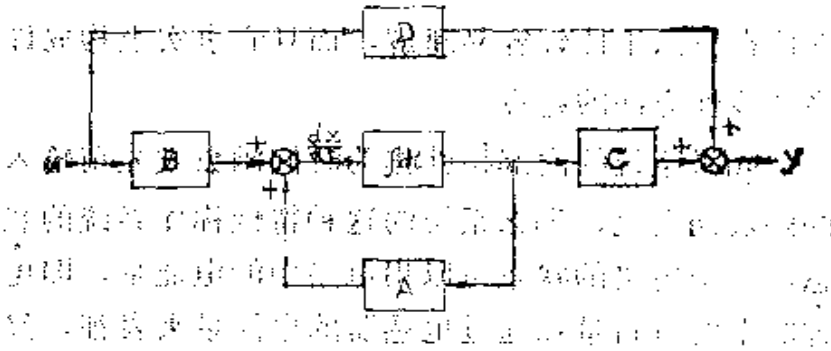


图3—3 广义线性系统示意图

这种形式的方程组可用来分析许多具有一系列不同输入的不同系统。

这种数学方程组，有着广泛的应用可能性，从航空和航天控制系统、化工厂、一直到经济和社会系统的模型都可以应用。

系统设计存在的理由是最优化，对此目的有用的一类模型就是那些与“数学规划”或“数学最优化”方法有关的模型。这些方法和系统的某个模型相结合，沿着我们刚才讨论过的方向再加上一个最

优化标准的数学表述。这个数学表述称为价值函数或目标函数。最优化过程可以追求收益-费用比，输出量，可靠性的最大值；也可以追求最小的费用、风险或输入量；或它们的某种组合——系统设计者认为衡量“最好”系统的任何标准。（图3—4）

图3—4 数学最优化模型

虽属粗浅，然而最简单的最优化技术是以“穷举的”探究方式逐一考察全部可能有的系统备选方案，然后选出使目标函数达最优值的系统或一组系统参数。

当系统的各种备选方案间存在确定的逻辑关系时，全部数学的分析工具——微积分、变分法、拉格朗日乘子等等就都能发挥作用。精巧的计算机程序已经研制出来了，通过大容量的参数空间能有效地找出最优解。

现在还特别研究出几种新的最优化技术来处理大系统的最优化问题。线性规划模型用下面这种形式的一组线性不等式来表示系统：

$$\sum_j a_{ij}\, x_j \leqq b_j$$

并用“决策”变量x_j的一个线性方程来表示目标函数：

$$z = \sum_j C_j\, x_j$$

最优化的过程就是在线性不等式的约束条件下选择x_j，使 z 达到极大值或极小值。解线性规划问题的“单纯形”法是1947年乔治·B·但泽和他的同事们参加美国空军的SCOOP（最优程序的科学计算）计划时提出来的。美国空军最初把线性规划技术用于这样一些各不相同的领域：合同投标；平衡飞机、训练操作人员和研制机翼的日程安排；安排维护大修周期；人员分配；以及选定空运路线问题。

另一项叫做动态规划的技术是理查德·贝尔曼五十年代在兰德公司首创的，动态规划模型是分析分阶段进行决策过程的工具。人们可设想这样一种系统状态：需要作出与多项活动有关的一系列决策，或者与一单项活动有关的一组按时间先后顺序的决策。动态规划模型作了下列一些基本假设：

1.不同行动产生的输出量可用一个共同的单位来衡量。

2.任一行动的输出量与其他行动的部署无

关。

3.总的输出量可以由个别输出量之和而获得。

这些假设可以表述为：

在约束条件为

$$x_1 + x_2 + \cdots\cdots x_N = x_0$$

的情况下，选择

$$z = f_1(x_1) + f_2(x_2) + \cdots\cdots f_N(x_N)$$

的最佳参数，这里x_i是待分配的资源，而x_0则是总的可用资源。

通常，系统问题可以作成为某种通过系统的物流的模型。这种物流可以是通过一种交通制度的汽车、制造厂中的货物、通过输油管的石油、贯穿在日程表上的各项活动等等。借助网络模型来分析这些问题。这里，网络是由相互联结的节点和路径构造的。一种重要的技术叫做PERT（计划评审技术）。PERT作为一种编制工程项目进度表和以此进度表来评价工程进度的技术是美国海军搞出来的。PERT第一次是用于海军舰载弹道导弹——北极星导弹工程。由于事实上有许多大小层次的承包商，北极星工程管理是很复杂的。要了解一个领域里出现的问题对其他领域及整个工程进度的影响是

极端困难的。PERT对解决北极星工程中的这些进度问题作出了重要贡献。

在科学上使用模型跟在工程上使用模型是有根本区别的。在科学上，一个模型就是最终产品。科学上的模型代表了关于某种现象的全部知识的精华。在工程中其目的不在于整理知识而在于要达到一个目标，模型仅仅是达到目的手段。系统工程师要做多少努力来构造模型，系统模型应当详细到什么程度，这是一个资源分配问题。系统工程师应当不断发展系统模型直到改进模型的边际效益低于边际成本为止。

3-5 系统观点

系统工程的内容比系统设计原理和系统构模概念的知识和应用更广泛。下面我们力图让读者体会到这样一种观点，它使得系统工程不同于传统的工程。

问题的核心在于系统的复杂性以及只见树木不见森林的危险。系统设计者必须设法这样来处理各种子系统和组成部分，以便使整个系统的费用—效

益达到最优——这意味着要避免次优化的危险。

“次优化”这个词是C.J.希契1952年创造的，下面的例子有一部分摘自他的论文。

第二次世界大战中关于商船护航舰队最优规模所作的卓越研究是运筹学的经典之一。当时美国和同盟国的大量商船在北大西洋被一群群德国潜艇击沉是要解决的问题。当然，在这种问题上始终没有足够的数据。因为对瞄准、击沉、以及涉及运气和技巧的大量问题，统计是变化不定的。但是，研究者们还是能够以大多数系统工程师都会同意的合理自信的指出，当一个护航队受到已知一群潜艇队袭击时，被击沉的商船数目和护航队中商船数目无关，而与护航队中的护卫舰只（如驱逐舰）的数目成反比。此外，在这样的遭遇战中被击沉的潜水艇正比于护卫舰只数目。结论是，选取被击沉的潜水艇数量与被击沉的商船数量之比作为收益，它随着船队规模的平方而变化（假定保持护卫舰与商船两者数量之比不变）。由这项研究提出的建议付诸实施后，击沉的商船数量急剧下降，对大西洋战役从而对整个战争的胜利作出了重大贡献。实际上，甚至商船沉没数目的减少比预测的更富有戏剧性。德国潜水艇在北大西洋不起作用，它们只好调往别处执

行更有利可图的任务。

这个著名的问题已经成为战后许多研究的主题，现在看来，改变策略（增大护航队规模）大概是正确的。但许多理由是错误的。实际上，从系统观点看来上述研究曾犯过的大量错误是值得注意的。

首先，如果人们确实相信上述结论，那就会建议把同盟国一切可利用的船都编入一个巨大护航队。这显然是荒谬的（在系统工程中如同数学中一样，极端情况往往起说明作用），最佳的护航规模必须既考虑扩大规模的优点也考虑其缺点。明显的缺点是，护航队不能走得比其中最慢的船只快，而且护航队抵达港口会使其设施应接不暇，大大增加了停泊时间。

实际上这项研究犯了次优化的错误，被最优化的是一支护航队和一个潜水艇群之间的小战斗，衡量其效果的标准是潜艇和商船击沉数之比。而应当最优化的是整个大西洋战役，衡量其效果的适当标准应是运到大西洋东岸的货物。当然，人们可以吹毛求疵说，这个标准要根据战争时间的长短（我们是要在下一月中，还是下一年中达到最大的货物运交量），拯救人的生命的好处（至少在我们方面）

而加以修正，但原则是清楚的。如果护航队过大，船队编组、装载、航行、卸货和返航的时间就会过长，那么总的货物交付量就会大大减少，虽然我们损失的船舶减少了。

甚至这个观点也还是次优化，因为真正的目标并不是大西洋战役的利胜而是整个战争的胜利。一旦德国潜艇转往别处，那就表明我们做得过分了。关于竞争格局（以及所有的随机系统，它们甚至可以是经过深思熟虑的对抗大自然的政策）有一条原理，就是在我们已经采取了最优策略的时候，敌人（或大自然）会如何行动我们就不在乎了。这个概念在对策论中已正式提出。由此可见，如果敌人（或大自然）有明确的优先选择机会可利用，我们就还没有达到最优化。在这个例子中，如果德国潜艇由于离开北大西洋而能干得更好，那我们必定是把我们护航队编得太大了。

但是，这还是次优化，因为赢得战争的目标应当从属於使战后世界最佳这个目标。在此例中这些考虑也许是范围拉得太宽了，但是这在决定对长崎扔原子弹时，却是一个严肃的问题。当然，还有更高的目标。所以，如果系统设计者处于更低的几个层次（例如，他设计装在一只护卫舰上的反潜导弹

系统，他应当如何行动呢？[illegible]希望在答复这个问题时提出"经济相关"这涉及到分析在较低级和较高级层次上的次优化之间的关系。我们还要补充说，在专心于那些更高层次上的问题会导致瘫痪或更糟的严重政治影响时，设计者始终应当认识到它们的问题和他的行动对它们的影响。最重要的是，他应当知道资助他自己的主持人所在的层次，并同主持人一起选择适当的标准。

作为一种经验规则，系统设计者除了考虑自己的层次之外，还应当考虑上一层次和下一层次。他应当考虑上一层次，因为一个问题在解决它之前是不能完整地给予表达的，就此而言，他所接受的任务是定义得不完全的（由于上面讨论过的理由），类似的理由要求设计者也必须考虑下一层次。

3-6 高明的系统工程师

最后，我们转过来讨论必须从事所有这一切的人——系统工程师。"系统"这个词的使用是相当糟糕的，每个大型组织机构中总有一些人被认为是系统工程师。这些人中间有许多人并不了解也不

必了解这里所提出的范围广泛的系统概念。这些人在他们的组织中可能有一项明确的、固定的任务要完成，而这项任务尽管重要，却可能并不怎样需要这些概念。

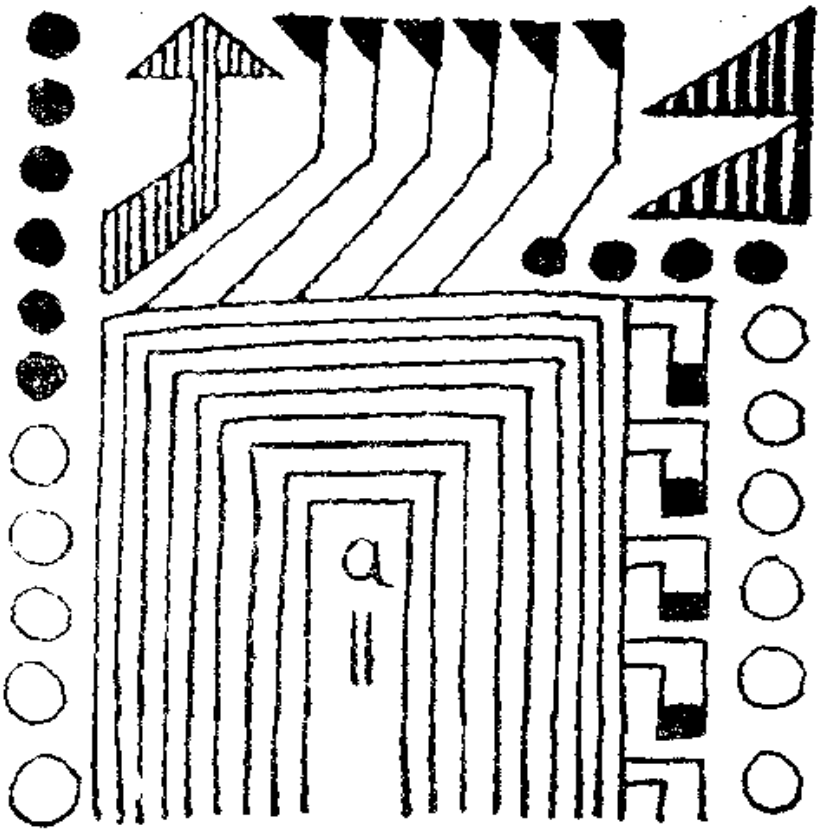
我们预说的"高明的"系统工程师是指这样一种人，他是系统的创造者、革新者、综合者。他是这样一种人，必须有"大画面"，他应当看到从系统要求到系统运行的途径，他能作出决策，实现主意并创建系统。

显然，这种人在某种意义上必须是通才而不是专家。理想的系统工程师是一个"T型人"，知识广博，但在某一领域里造诣很深。他的学识渊深，来自学者的经历——博士或相等学历，而见闻广博则由于广泛的兴趣和才能。他常常必须在一个新领域诸如气象学、电视或脑电图记录方面成为一个"六个月的专家"，他会发现他的数学和工程方面知识背景使他能在短时间内学到足够的东西，从而能和这个领域内真正的专家共同工作。

除了系统工程以外，他必须有丰富的行政经验并对市场情况非常熟悉。他尤其必须是一个好推销员，因为不管他思想上的优点如何，他都必须使某个主持人确信他的计划比许多其他建议更值得支

持。那些建议总是在争夺有限的投资、设备或可用的时间。他必须了解工程项目的管理系统；他必须熟悉成本会计；他还必须懂得玩弄组织的和行政的手腕。这也许是从任何一本书都学不到的。

当然，懂得所有这一切的人是不存在的。实际上系统工程师并不需要通晓一切，他必须知道的只是各种跟他的个别问题贴切相关的事物。在这个意义上，即将出现显然是称职的成千上万名系统工程师。



第四章

系统工程中的决策分析

R·雷华德·

过去十年中可以看到一种新的职业发展起来了，这就是决策分析，一种为作决策提供合理基础的职业。看起来似乎有点奇怪，一些人以帮助别人决策来谋生，但这正是决策分析家所做的事情。因

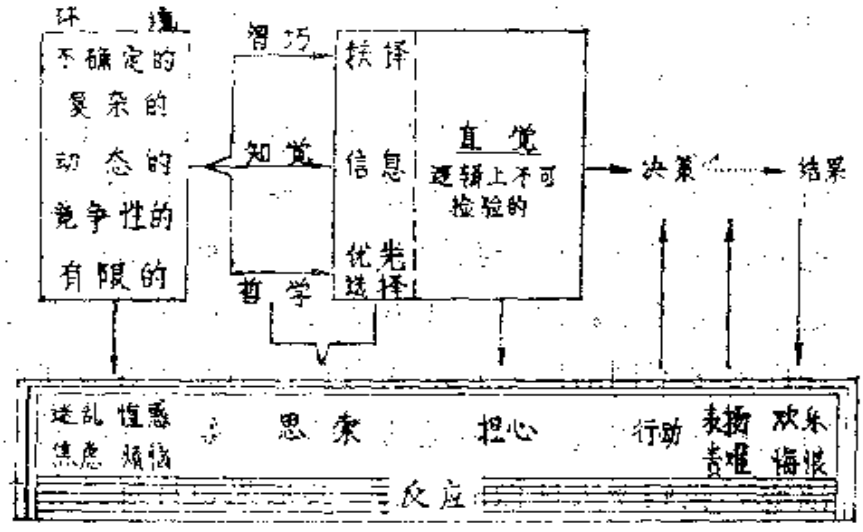


图4—1 决策制定（描述性的）

此我们最好还是能了解一下对于这种新职业的需要，让我们先看一看在我们用于日常生活的那类决策。（见图4—1）

4-1 描述性的决策

根据这种描述性决策的观点，我们先来考查一下人类的决策环境。这种环境可以用几个特征来表述，当我们全面研究这些特征时，不仅要根据现代公司和政府的决定，而且还要根据各种个人的、传奇式的或历史的决定来思考它们。我们或许还可以追溯到历史的黎明时期，穴居山洞的原始人，为了躲避长着锐利犬牙的老虎，正要决定走这条路还是走另一条路，他看出他的环境是不确定的，就象我们看出自己的环境是不确定的一样。如果有什么环境的属性在决策中给我们带来最大困难的话，那就是不确定性了。此外，环境是复杂的，我们看到有许许多多不同的因素正以我们往往不能理解的种种方式相互作用着。环境是动态的，它始终随时间而演变。我们今天所做的事情，其后果也许好几年都看不明白。

不幸在商业、军事或国家问题中，环境往往是竞争性的，有各种心怀敌意的睿智之徒正打算牺牲我们来改善他们自己的生活。也许最大的不幸是我们的资源是有限的，尽管多少世纪以来宗教领袖就劝告了：人要觉悟，他自己是一个受到限制的生物，他必须计划分配他所有的而不要扩张自己的富源。

人们对于这些环境特征的典型反应是迷乱惶惑和焦虑烦恼，无论是法人组织的反应——有许多焦虑不安的公司经理——还是个人的反应均是如此。不过人在和环境搏斗中是有武器可用的，他是为作出决策而奋斗，我们把这些武器分为三种类型：

第一、人有智巧，他运用这种智巧，想出各种不同的行动方针并给予系统的阐述，就是说他具有抉择的可能性；第二、人有知觉，他能够由他所看到的东西而得到知识，他能够对人世间的生活作出判断。换句话说，他能搜集关于他的环境的信息；最后而且从某种意义上说也许是最重要的，人有哲学思想，他有指导自己生活的原则，这使他在由他的决策而可能得到各种不同的结果中有所偏爱。

虽然我们只考察了这些思想的个人运用，而公司、大学和政府机关也都具有这些特性。我们可以

把它们合并成为思维这个概念。这就是思维的过程——人产生决策问题的过程。

这里我们给决策一个定义：决策是一种资源的分配，而这种分配只有在付出某种资源财富，诸如时间或金钱作为代价才可以取消。从实用观点来看，我们应该认为它是一种不可撤消的资源分配。改变世界的状态或实现某种行动方针并不是精神上的献身，而是某种实际的物质上的变化。

4-2 直 觉

人在一生中（或公司在它延续存在期间）作出绝大多数决策的方法是直觉，他运用一种直觉方法来权衡各种选择、信息和他已表明的偏爱，并提出行动方针即提出资源分配。我们无法说清楚直觉是怎样起作用的，但我们大家总是碰到凭直觉进行活动的人。确实在日常生活中，我们大家每天都由直觉作出决定，走哪条路线上班，早上什么时间起床等等。在我们作出的大多数决定中，用任何别的行动规则来代替直觉必定是愚蠢可笑的。但是，我们个人也好、组织也好，面临着有些决策非常重要，

对于我们的生死存亡、欢乐有决定性的影响，我们必须奋力争取一种更好的决策方法。

最使我们感到烦恼的直觉的特征，是它的推理方法是不可核对的。如果一个人是董事长，而且以直觉决策，他可能说："诸位！我已经看了所有的报告并经过仔细考虑，我认为我们应当与X公司 合并"。尽管这个决断可能是个绝妙的主意，我们实在无法对它评价。没有一步一步核对无误的办法来确定这个决断是否是对决策人可利用的抉择、信息和偏爱的逻辑推论的结果，这一切都是在他心中进行的，可以说，是锁在门后边谁也不知道的。虽然一个人单独经营的公司或许有可能顺利地做出这样的一项决断而不受非难，可是在我们这个越来越相互依存的法人世界里，或者在我们这个社会中，个人能向大家表明他根据什么理由提出某项具体决策却变得越来越重要了。同样他们能看到围绕决策的那些因素发生了什么变化以致会导致另一项不同的决策，这也是很重要的。

因此，我们时常发觉，一个直觉决策过程的结果在作 此项 决断 的个人或组织方面，都是侷促不安的。法人组织的决策人，在直觉的基础上作出了一项决断，而事后（在他们思想上已经赞成之后，

然而在他们签署核准之前），因为他们对于这项决策是否与他们的抉择、信息和偏爱相一致感到不安，又来寻求更好的决策方法。这样的决策人人数之多，简直叫你吃惊。

4-3 决策与结果的比较

关于描述性决策，还有一个问题，我们应该提到：人有一种令人遗憾的倾向，往往会把决策的质量与这个决策所产生的结果的质量等同起来。随着每一项决策而来的结果不是令人欢乐的就是令人悲哀的。例如：外科医生决定锯掉手臂，于是病人不是康复就是死亡；投资者决定购买某种新股票，于是这种股票不是赚钱，就是赔钱。如果这种股票赔了钱，或者如果病人死了，那末我们往往会说：决策人作出了一个错误的判断。

不错，从逻辑上说，这是无法辩护的，因为你评价一项决策的质量，唯一可能的方法，只是根据该项决策是否与决策人的抉择、信息和偏爱一致。虽然我们大家都喜欢令人愉快的结果，不喜欢悲痛的结果，但只有这个决策是在我们的直接控制之下

才行。我们必须寻求帮助以最大限度地利用这种控制，但是我们也必须区别决策质量与结果质量。

这里举一个简单的例证。假定一个人有机会判定掷钱币的正反面来赢得100美元，如果他判定那次投掷对了，他就赢得100美元，如果不对，那他就一无所获。很少有人不喜欢玩这种游戏的。假定玩一次的票价是5美元，我们可以担保会有许多人乐意付5美元玩这种游戏的。于是，想象有一队人在等着轮到他们。第一个人来到这里，我们收下他的5美元，我们掷钱币，他判定正反面，结果他输了。现在怎么办？我们说什么呢？我们说他得到了一个坏结果。第二个人又前来，他也付了5美元，而且他赢了。他得到了一个好结果。这两个人都作了同样的决断。这是个好的决断，但作出的那个好的决断，并不是取得好的结果的保证。不严格地说，作出一项好的决断仅仅是尽我们能力之所及来增进取得好结果的机会而已。

任何一个研究决策分析的人都应牢记的一件事，就是识别决策质量与结果质量之间的差异是有重要意义的。这种区别是决策研究的起源。通过在头脑中形成决策过程的概念而直接了解结果，正是这种卓越性，使我们能从形式上研究什么样的决断

才算是“好的决断”。

在大多数情形下，我们并不真正了解什么是好的决断。习惯于用所产生的结果的特性来表征所作决策的特性，以致我们到现在还没有一种辨别好决策的程序——一种工程分析、一种科学研究。决策分析的存在理由之一是决策分析系统地阐明什么是好决策的思想，并且用定量的词汇来阐述它，从而可以将这种思想从一个人传达到另一个人，从一种情况到另一种情况加以比较。

关于描述性的决策，谈了这么多。在我们的个人生活或集团生活中，可能大量用到它，但它有直觉的缺点，不过我们认为现在有可能超出这种直觉的缺点之外。

4-4 决策分析

这一章我们考察一种可以代替描述性决策的名叫“决策分析”的方法。这里有一个简略的定义：决策分析是对影响决策的各种因素的权衡，如果我们想要补充一个别的词，那就是：决策分析是对影

响决策的各种因素在逻辑上的权衡。通常这些因素可能是技术的、经济的、环境的或竞争的诸因素；但也可以是法律上的、医疗上的或影响到这个决策是否是好的决策的任何其它各种因素。

4-5 决策分析的先驱

决策分析也是一个名词，我们用来描写两个早期领域的成长，即决策理论和系统模型化方法论。直到最近之前，决策理论曾主要是大学师生的领地，他们在探讨很简单但又不确定的像瓮中取球、掷钱币、少量钱的输赢诸如此类的情况中如何处理才算是合理的这个问题。可是这竟然证明（即使在简单的实例中）对于什么是好的决策的问题也有很大意义。这是上溯至1738年的伯努里的理论家们多年一直在焦虑的问题：真正构成好的决策的究竟是什么？然而决策理论过去只是对于很简单的决策的一种理论，要把决策理论应用到我们今天面临的种种复杂的法人团体甚至个人决策上，确实相差很远。

最近三十年来，我们也看到了系统模型化方法论的发展。那种系统模型化方法论以从未意料到的

方式为处理复杂的、动态的环境问题提供了手段，当然电子计算机的问世起了巨大的作用。决策分析则是系统模型化方法论和电子计算机这两项发展的产物。决策分析把处理事物的错综复杂性和动态变化的能力同处理在面临不确定性的事物时的决策能力组合成一门单独的学科，可以同时处理这三个方面的问题。

4-6 语言和程序

这门新的学科有两个有趣的方面。首先是关于决策的语言和哲学。它是一种谈论决策过程的方法，即使你永远不用铅笔在纸上计算也行。事实上一些组织，他们已经开始用这种方法来思考，运用这种语言和哲学来思考，看来再也不会恢复他们原来的思维方式，这是一种反格雷沙姆定律*，语言的规范

*格雷沙姆定律（Gresham's law）：西方经济学原理中的一条英国商人兼财政学家托马斯·格雷沙姆爵士（1519—1579）提出的定律，指货币流通中，“贱的逐出贵的”，即在同时流通的货币中，用贵金属制作的值钱的货币，当货币贬值时它将在流通中自行消失。

反格雷沙姆定律则与之相反，即“贵的逐出贱的”。——译者

化和概念的清晰性，使我们不必用那些在决策中不可能有效果的方法来考虑决策问题。

不仅如此，就这项职业本身而论，这一思想是，决策分析是一种逻辑的和定量的程序。它不单纯是谈论决策的方法，它实际上是一种作出决断的方法。它是建立决策模型的一种方法，这个模型能使我们采取象在汽车工程或飞机工程中所使用的那种相同的方法来检查、试验和消除各种缺陷。要不是这个事实："决策工程"以某种方式蕴含着一种巧妙处理决策过程的性质，而不是对决策过程的分析，那么这个领域就可以称为决策工程而不叫决策分析了。

4-7 决策分析的形式主义

决策分析怎样区别于直觉决策呢？在某些情形下根本没有什么不同；而在另外一些情形下则差别很大，首先请考虑环境（参看图4—2）。由于环境依然是不确定的、复杂的、动态的、竞争性的而且是有限的。因此就有"坏的消息"。我们不得不接受它。决策分析并不是用"水晶球"占卜预言的程

序，虽然人们希愿它会真是如此。所以，当我们开始研究决策问题的时候，仍然会感到迷乱惶惑和焦虑烦恼。此外，要进行决策分析，我们就必须是足智多谋、观察入微并富有哲理，所以不喜欢思考问题的人则是不可指望的。决策分析也不会对他们有多少帮助。

抉择。现在我们开始从抉择得到帮助了。首先让我们逐条研究智巧、知觉和哲学这三个方面，看一看这门新的学科之中如何处理它们。列举在这个

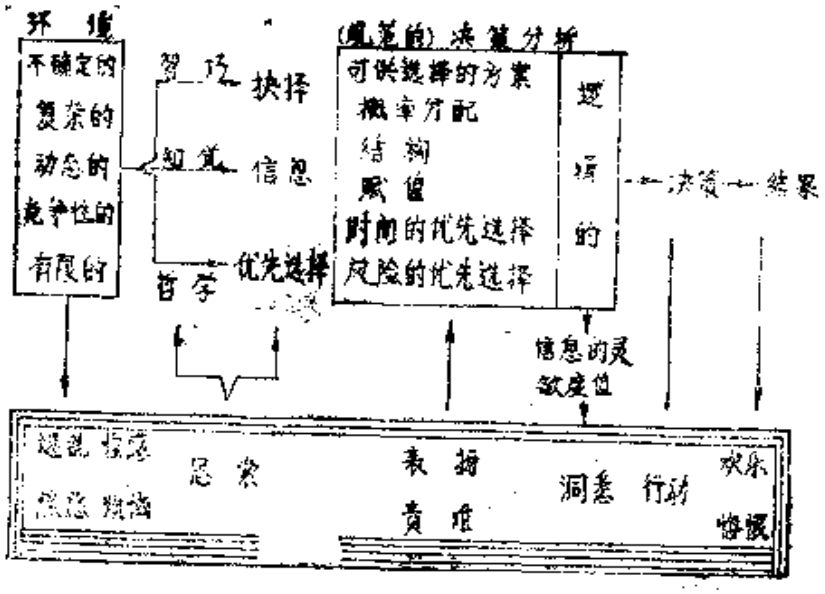


图4—2 运用决策分析的决策过程

决策问题中可采用的各种可选择的特殊方案，就可以清楚说明了决择这个观念。它们可能是有限的可供选择方案，象前面所说的锯掉手臂或不锯掉手臂问题；或者它们可能是用连续变量来描述的各种可供选择的方案。诸如工厂的生产能力、新产品的价格、以至为下级规定预算的大小等。关键在于定量地描述可供选择的方案，而不是用一般的词汇来叙述它们。

顺便说一说，提出新的备选方案这个过程是我们希望能多加评论的一个问题。独创智巧是需要的；象这里所分析的那样，在这一过程中需要的创造力恰好如同在直觉决策过程中所需要的一般多。决策分析能够给探索新的抉择或备选方案带来的唯一好处和任何分析模型在用于解决一个问题时所提供的帮助是同样性质的。例如，使用工程模型，这些模型在大多数情况下虽然并未直接综合起来，却能够产生出对现行设计的真知灼见，提出解决工程问题新的选择方案、新的途径。这里可以出现同样的情况，但它并不是形式结构的一部份。

信息的编码。当我们考察信息时，产生了第一个新鲜事。我们用两种方法来表示信息。我们用概率分配来表征不确定性的特点，而且用模型即用建

立问题的结构来表示各种关系。让我们首先来谈谈建立结构。

1．建立结构。这是我们在身体模型中看到的那种“头颅连接颈脊”的配置。可是我们谈的是决策模型：一种表示决策问题的根本逻辑关系的方法，用一种什么对什么发生影响的数学模型来表示这些关系；这些决策问题，可以是全国性的、法律上的、工业中的或任何什么别的问题。这是在本书其他章节中讨论的问题——建立模型以及在建立模型中使用电子计算机的程序。虽然我们还不习惯于用建立其他工程系统正规模型的同样方法来建立决策的正规模型，但决策分析家恰恰是这样作的。事实上，凡是要想在这方面从事工作的人都需要精通现代模型化技术。

现在我们再回过头来讨论不确定性。

2．概率。由于许多读者可能并不熟悉决策分析这个领域，因此我们也就没有理由要详细审察对于概率究竟是一种心理状态还是事物状态惯常进行的冗长争论。决策分析家认为，概率是一种心理状态，是表示一个人对于一个特定事件或可变因素的不确定性的一种方法。而且认为不论现实世界中长期出现的频率是什么，它都没有必要予以解释。

用概率分配来描写不确定性的全部思想，仅仅是近一、二十年内出现的事。在此之前，概率被认为是统计学家的领地，是只有专家才能入内的区域。我们可能仍然需要专家来处理更加复杂的概率技巧，但是我们不需要专家用概率的术语来思考，这是决策分析所要求的。在某些情形下，这是决策分析家行业中最独特的部分，他对于不确定性的估计和含义能有效地进行处理。

唯恐读者认为这方面强调得太过分了，这里引用一段话，它出自完全不同领域的一本书，精神分析学家詹姆斯F.T.布根塔尔撰写的一本非技术性的书籍叫《可靠性的探索》，他写道：

让我们先暂停考察这种关于确定性的探索。我用“确定性”这个词表示同偶然性相反的意思。在我们邻居的一场火灾中得以幸免的我，关心我的房子，决定研究一下，我不会再有如此侥幸的可能性。我发现我的房子不会失火与会失火的两种可能性的比例是1000对1。但我不满意这种状况，而向后清除了一段距离的丛林。现在我发现不失火与失火的可能性是1500比1。但仍然不放心，我只好安装起自动洒水灭火系统。现在我得知我的房子不会失火与会失火的可能性已是3500比1。然而无论我

怎样努力，我总得承认我的房子一定不会火烧的确定性是不可能达到的。我可以再作许多努力，但我不能确保核爆炸引起的风暴性大火不会使我的努力落空。我也可以把我的房子建筑在地下，可是我还是不能确信地球不会被吸引到离太阳更近的地方，因而整个地球都着起火来。

当然，这些都是荒谬的极端情形，意义仍在于并不存在真正的确定性。对于任何其他问题，情形也是如此。然而我们总是要寻求确定性。我们购买保险、飞机座位上的安全带、药品、门锁、教育以及许多其他事情，努力保护我们自己，防止发生悲剧，保证得到好的结果。只要我们承认，我们正在用概率处理问题，那么这样的抉择会是有用的。每位治疗学者都已经看到要探求确定性的病状，并不是探求更好的概率。

人们可以用“决策分析者”代替“治疗学者”来读最后一句话，并且说每位决策分析者都已经看到要探求确定性的病状并不是探求更好的概率。作者曾遇到的每一家公司都深信安全的秘密就在于把情况弄得确凿无疑。在斯坦福大学的一门课程中，学生出去作决策分析，把它作为课程作业的一部分，他们提出的报告中，有一份涉及到“探明”

矿产储藏量的概念。这里我们看到当某种事物不是确实可靠的时候，就有要使它成为确实无疑的倾向，因为一个已经探明的储藏量并不是已经证实了的储藏量，它是某种附有概率的事情，在数量、类型、提炼成本等等方面的概率同它连接在一起的。

课程的另一个例子涉及到如何治疗患心绞痛的病人。你是对他们施行新的特殊外科手术呢？还是给他常规的药物治疗呢？这又提出了这样一个问题，有一些处置方法是“已经证明了的”医药疗法，而其他的则是尚未被证明过的。换句话说，世界上的事再次被分为两类：一类事是好的，确实可靠的，为社会所批准的；另一类事则是行不通的，但在这两者之间只有很小的一块空地。在这些例子里，正如我们大家在自己的生活中都看到的那样，我们都在不断努力排除不确定性，因为（正如精神分析学家布根塔尔所说的）同不确定性打交道是很令人头疼的。

在公司里，我们也看到同样的事情。他们通过竭力查明根本不确定的因素的办法来设法建立起预算、目标和增长率。我主张法人团体兴旺繁荣之道并不是努力把人世间的事弄得确实可靠，而要在它目前不确定的状态中同它一起生活，如果我们生活

于其中的人世间的性质已知，就采取最好的可能的方法行动。布根塔尔也把这一点看成是心理健康的关键。所以我猜测虽然我们是在不同的领域中工作，我们的意见却是一致的。

后面我们将回过头来讨论，我们如何着手作出概率分配（参看本章末尾的问答部份）。目前我们只是说，存在一种方法可以作出概率分配，而且这种分配成为整个信息编码工作的两个组成部份之一（另一部份则是结构），最后导致把我们所知道的东西纳入这个模型之中。

所以，如果我们必须表述决策分析的输入特征，那么我们就要说，抉择是我们能够做的事，而信息就是我们所知道的东西。现在我们来讨论第三个问题，优先选择——我们想要的东西。

优先选择的确立。出现这种情况，是由于我们先前对付不确定性的无能为力，或者用更确切的话来说，恐怕是不乐意同不确定性打交道，所以在大多数的决策问题中，我们从没有提出我们真正想要什么这个问题。这是一次很有趣的练习：选定一个家伙，他有一个难以对付的决策，因为其中有许多无法确定的事，于是问他，“好罢，假若我消除掉所有一切不确定性，假若我确实无疑地告诉你，这

里，这里和这里将要发生什么事情，那末，你想要什么呢？”他常常不知道。请根据新的可能的美国生活状况来想想这个问题罢。如果我们不当一回事就能得到我们所要的任何优越的生活，那末我们会要什么呢？

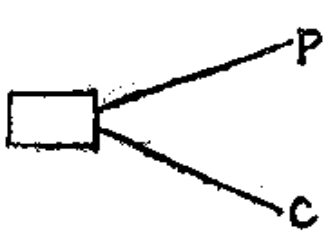
决策分析把不确定性同确立优先选择权分开来。一旦我们告诉决策人，“瞧！让我来为不确定性伤脑筋吧，那是我的事。”“我们正在把它编码，在给定结构和可供选择的方案的条件下，利用存在的不确定性，我们能做出最好的事情来。”“你真正想要的是什么？”“这一结果的价值比那个结果的价值究竟大多少？”于是他有了一个他能够建设性地进行研究的问题。

我们把优先选择的思想分为三种范畴：第一种优先选择我们称之为赋值（价值分配）；第二种是时间上的优先选择；第三种是风险上的优先选择。赋值同情况有关，随着情况的不同，你取得不同的结果。并且你说：“这一项结果的价值比那一项结果的价值大多少？”“两者的相对价值是什么？”

1．赋值（价值分配）。这里有个例子，可以把这个题目讲透彻。假定我们考虑一种病例是我们大家都能识别的。假定你走近医生的诊所，于是他

说："你确实得了一点病，我们必须在医院里对你进行治疗，而且你要在那里忍受一天的剧痛，然后就会痊愈了的。"而你说："啃！什么剧痛啊？"他说："就象不上麻药拔掉一颗智齿似的。"这种痛苦是不是同地狱中的折磨相当，我们每个人都有他自己的想法，但是你至少能够想到那种结果对你意味着什么，是令人多么高兴、还是令人多么悲哀。我们必须考虑到所有各种感受。

然而，我们还是有另一种选择的方案：服用一种不可思议的妙药，对你的疾病将产生一种直接无痛治疗的效果。那末，你就有一种选择的机会——或者是痛苦地在医院住一天，然后痊愈，或者服用没有副作用的妙药，立即治愈。（参看图4—3）妙药回春与住院疼痛一天比较起来，你要多付出多少代价呢？妙药是昂贵的，因此让我们来看看，为了获得此药除你往返医院的费用以外，你还要付出多少钱。你会付出1美元吗？没有问题，你愿意付出1美元。付10美元呢？也无所谓，那个智齿是相当疼痛的，那末要付出10,000美元，你会怎样呢？你的回答可能会是："你必定认为我很有钱罢。""我到哪里去弄到10,000美元呢！"



P：在医院里剧痛一天然后治愈。

C：立即治愈。

图4—3　赋值

这样，我们现在就把你限制住了。我们或许有几个百万富翁的读者，他们对10,000美元一笑置之，我们也许有些必须努力挣扎方能谋生的学生，他们说："我不管，给我十块钱，四个智齿全部拔掉好了。"但是我们每个人都会根据自己的经济状况说出他愿意为某一事物付出的代价比为别的事物付出的多多少。请注意，我们现在正在作价值问题的决策。我们是在说，假若不论什么情况你都能办到的话，那末，在你漠不关心作出抉择之前，我们就会提出这次立即治疗费用还得再花多少钱。所以一个关键性的概念就是要运用比较这个概念，并在一边或另一边加上正的增量，直到你说，"好了，我说不出差别了。"那就是价值问题。假定现在出现一个没有不确定性的结果，你喜欢它到什么程度呢？

2．时间上的优先选择。我们面临的下一个问题是时间上的优先选择。时间上的优先选择涉及到我们根据在时间上分布的价值标准来给予价值，这包含我们称之谓“贪婪——急躁的权衡”。如果东西更快地到手，通常我们情愿拿得少一点。确定一个人或一个公司时间上的优先选择并不是简单易行的，但我们能证明这是非常重要的事。

我们研究一个案例，它涉及一个人必须在做肾脏移植手术或者用人工肾无限期地增加渗析这两者之间进行选择。结果证明对他说来整个问题归结为时间上的优先选择，根据进一步的调查研究得出，对他要紧的是要活到他的孩子大学毕业。所以，他在时间上的优先选择具有一种有意思的结构。他对于活到将来X年的某一时刻给予很高的价值，但在此之后就不那么高了。这是一种不寻常的时间上的优先选择，但却是任何完备的理论都必须能容纳的一个案例。

在这个医学实例中，我们怎样说明时间上的优先选择呢？假定我们考虑这个内科病正孕育着一种新的严重的病P_L，要活命就得一年一次苦痛地住院一天，否则就得现在立即治愈（参见图4—4）。每年你必须去住院一天接受痛苦的治疗，要不然，你

可以得到紧急治疗而立即痊愈。很明显，紧急治疗是现在比过去那样情况要更值得，因为不管怎样，你已经打算第一年住院治疗了，但是再付多少钱取决于你对未来的态度。如果你说发生任何一件事要离职30天以上，你其实是不在乎的，那末对你的问题就会有个答案。但是，如果你很关注你退休的收入，那末你的态度就有所不同了。你对这一问题回答的方式使我们对于你心中如何重视时间，有了许多深刻的见识。

公司和国家当然都面临着时间上优先选择的问

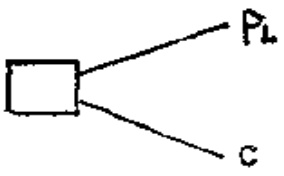


图4—1　时间上的优先选择

题，如果我们设想建立一个全国公园系统或其他长期投资，那么我们就不得不考虑同今天的收益相比，将来的收益多大，才算值得的问题。

3．风险上的优先选择。虽然价值和时间肯定是重要的，但我们现在谈论的这个行业的一个极不

寻常的方面，也许是处理风险上优先选择的能力，即上述三个方面的第三者。要说明风险上优先选择是很容易的。风险上的优先选择这个术语，我们用来表述这样一个事实，即人们不是根据期望值决策的，也就是说，他们不愿意只是靠比较各种可采用的方案之期望值来选定方案。（选择方案之期望值，是根据每次竞争获胜的奖金乘以可能得奖的概率，然后再把全部获奖的这些乘积加起来进行计算的。）

假定我们说："我们之中有多少人愿意这样地掷硬币，以来年的收入为赌注，赢了得双份，输了分文没有？"不管我们明年挣多少钱，如果我们叫对了硬币的正反面，我们就得到两份薪金；如果我们叫错了硬币的正反面，我们就一无所得。在目前这种情况下，期望值就等于来年的薪金。凡是愿意根据期望值作决断的人，就根本不会愿意做这种买卖。要说将有许多人会参加，那是值得怀疑的。因为在这种掷硬币中，一个人会一无所获。假定我们给参加游戏的每个人支付一美元，那末参加者从中也就有所得了。但是我们之中大多数仍然不会去玩这种游戏的。假如我们说："好罢！为吸引人参加这种游戏，我们该付出来年薪金的几分之几

呢？”如果我们付出分数为1，那末参加者就毫无损失。不管怎样，他将得到来年的薪金，于是每个人都将愿意干。如果我们付出的分数为0，那就没有一个人愿意去试它了。实质性的问题在于我们究竟必须提供来年薪金的几分之几？通常象60—95%这些数目可能是合适的。95%适合于这样的人，他有相当多的财务上的义务而又正好不明白如何将会办成功。反之，更小的分数也许倒适合自由自在的单身汉，他想即使来年什么收入也没有，他总能在贫穷的困境中生活下去。所以对这个人，就他自己的环境、情趣来讲，那是非常特殊的。从这种意义上说，我们现在所谈论的各种事情，对个人说来都是独一无二的。对决策人合适的东西对一般公众并非普遍适当。

我们把医疗问题的讨论扩展到这样一种情况，即我们大家都是考虑一种并不完善的灵丹妙药。遗憾的是这种妙药可能治好我们的疾病，但也可能毒死我们。所以我们是服用这种现在免费供应的妙药呢，还是去医院忍痛一天治疗呢？必须进行选择。但这种妙药毒死我们的概率为P，而没有苦痛、也无副作用地治好我们疾病的概率则为1—P（参看图4—5）。问题在于这个概率P是什么数值时，我们

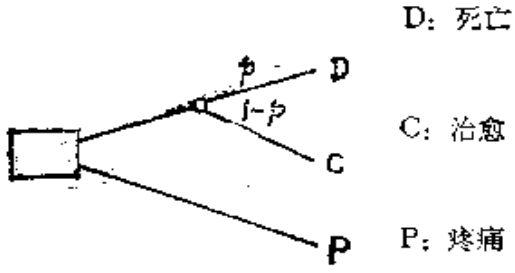


图4—5　风险上的优先选择

就对去医院痛苦一天不感兴趣而服用这种妙药。请考虑一下，设身处地想一想，这种情况并非很不现实，在医疗实践中出现的与此正好相似的事例有的是。

假设P = 1/1000，情况会怎么样？同医院里忍痛一天相比较，1000次中有一次机会我们会因服药致死。得到的回答可能是“死亡太不幸了，我可不想死。”万分之一的机会又怎么样？通常的反应是：“今天我感到很走运——万分之一的机会，我可以试试看。”关键的问题是：一旦我们确定了一个人对他的生命所判出的价值——如何规定那是另外的话题——以及有关在医院里痛苦一天治疗的价值，那末，P这个数值一定会使我们能看透他们对待风险的态度，而且确实也会使我们能够着手描述他们在风险上的优先选择。

合乎逻辑的决策。如果这一点已经做到了，我们已经完成了这一程序并确定了这些优先选择，对结果定出的价值，对时间的态度，对风险的态度（并有一套为了做好所有这一切的方法论），而且我们已经建立起人们在制订决策时所必需的模型，已经估计出这些不确定的变量所要求的概率，那末，我们仅仅需要逻辑就能作出决断。现在，一项好的决策就可以非常简单地定义为由我们已经阐明的抉择、信息和优先选择在逻辑上所蕴含的决策。由此没有什么模棱两可的含意，只有一种合乎逻辑的决策。

这使我们一开始就能够对这个决策过程给予嘉奖或贬责，而不是根据最后的结果来褒贬。在我们知道一项决策是否产生好的结果之前，我们就能对这项决策进行分析，确信它是一个高质量的决策。这给我们提供了许多机会。它使我们有机会修订这种分析，以寻找其中的弱点，换句话说，我们可以采用与修补其他各种过程中的工程模型同样的方法来对它修修补补。

4-8 信息的价值

假若这就是决策分析所要做的一切，那它就会给人足够深刻的印象，而且从它那里我们还得到其他种种好处。我们对问题的各种不同特性会有敏锐的感觉，而且我们了解到某种称为“信息的价值”的东西，我认为它只是决策分析才有的。信息的价值，就是根据一个或多个问题变量断然一次地解决不确定的事会有多大的价值。换句话说，假如我们对某件事无法确定下来，于是也不知道该做些什么。我们假定有这么一个被人称为“具有超人的洞察力的人”。他是能干的而且说真话的。他会告诉我们将要发生什么——要付给他一定的代价。问题在于代价应该是多少。为了达到做出这项决策的目的，我们能付多少代价来消除不确定性呢？

当然，世界上并没有真正具有超人洞察力的人——至少不经常有这种人——但是具有超人洞察力的人在决策分析中所起的作用，就象卡诺发动机在热力学中所起的作用完全一样。这并不是我们实际上能够或不能够做到这一点，而是把它作为一个水

准基标用来同任何其他实际程序进行比较。所以，就任何不确定性而论，超人洞察力的价值代表着任何一个把这种不确定性弄明白的信息搜集过程可以值得付出的代价上界。

例如：要是我们在医疗中发现，预先看到我们会不会因药物而死亡的超人洞察力的价值是500美元，那就是说，我们为查找文献或任何其他只能对我们会不会有死亡问题提供不完全的信息的工作而付出的代价不应当超过500美元。

人们能够对我们在做决策过程中的信息价值规定几元几分的现款数目，并能够用这笔数字引导我们参与哪些信息搜集过程，这个事实本身对许多人来说真是意想不到的新发现。

被评定的医疗问题。要想简单地表明怎样进行这种计算那是很难的，但我们可以举个医疗例子并引入一些数字来试试看（参看图4—6）。这个病人有权选择是否服用这种不可思议的灵丹妙药。如果他不服用此药，那么他就要忍受疼痛，我们把这种情形当作价值为0美元的参照点。如果他服用这种药，我们假定他死亡的机会为1/1000，及时痊愈的机会则为999/1000。这里我们还引入一个数字说明治愈比疼痛多值100美元。他是一位相当穷的人，

但为了无痛治愈疾病而不在医院里度过痛苦的一天，他宁愿多花费100美元。现在对于死亡来说——一条人命值多少钱？这个人已经把他的生命价值规定为100,000美元。

请注意，我们“规定”他的生命价值。这就是说他要求公路系统和民航的设计人员把他的生命估价为100,000美元。为什么他不把他的价格定为一百万美元呢？如果他那样作价，那么他乘飞机就要花费更多的钱，坐汽车的开支就要更大。如此等等。他想不劳而获是办不到的。如果他把他作价太低，那么他最好每次坐进自己的汽车时都戴上钢盔，以防万一。所以在我们正在谈论的这个完全合乎逻辑的人世间，他要决策人采用什么数字，对他就是一项决策。

图4—6中引用－100美元这个数字的意思，是指我们的病人曾经说过，1/1000的机会损失100,000美元，999/1000的机会赢得100美元，对他就有－100美元的价值。换句话说，就是要他承担这种不确定的事情，我们必须付给他100美元。－100美元与0美元比较起来，很显然，他决定不采用这种内服药会更好些。所以，对他来说，概率、价值和对待风险的态度，导致对这种完全不确定的事情评

估款项为－100美元，最好的决策是对这种内服药不予考虑。

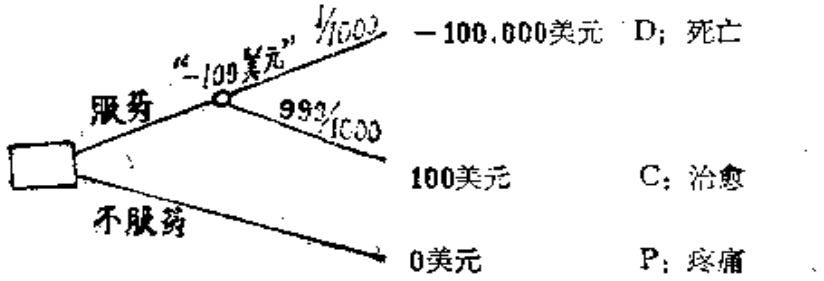


图4—6　医疗决策

超人的洞察力。现在这个具有超人洞察力的人来了。如果我们所谈论的人并不光顾这位具有超人洞察力的人，那么他不服这种药也就一事无成，得不到什么。反之，如果他真的买了死亡是否会发生这个问题上这位超人的洞见，那么情形就会怎样呢？第一、这位具有超人洞察力的人，一定会告诉他，如果服用这种药，他是不是要死亡（参看图4-7）。这里我们用带引号的“D”来表示，意思是这位具有超人洞察力的人说他是要死的。由于具有超人洞察力的人真正是先知预言的，所以这相当于实际上他真的死亡。“C”的意思是这位具有超人洞察力的人说他服药治疗会痊愈。因为这位具有超人洞察力的人说他要死的概率与他真的会死的概率必

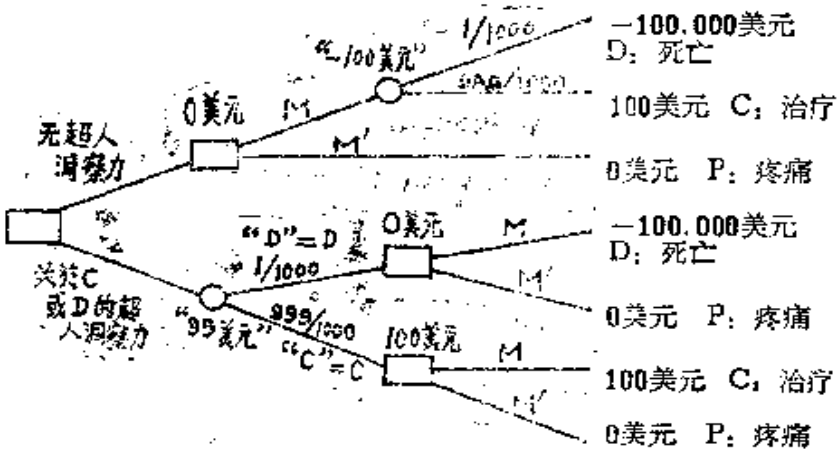
须相同，所以他必须有千分之一的机会从这位具有超人洞察力的人处得到他要死亡的报告。现在假定这位具有超人洞察力的人说他要死，显然在那种情形下他不应当去服那种药，于是他将一无所获。如果这位具有超人洞察力的人说他不会死，那么他服药的景境更好，他将会治愈而挣得100美元。因为从先知说他会死去所得的好处是0美元，而说他不会死所得的好处则是100美元。又因这位具有超人洞察力的人说他不会死有999/1000机会，正象盯着看彩票一样，我们可以知道这对他将差不多值100美元。他有999/1000的机会赢得100美元，而仅有1/1000的机会赢得0美元。

我们假定他估价这个完全不确定的事情为99美元。如果他不花钱换取这种超人的洞察力，那么他是在考虑0美元；如果他真的花钱换取它，那么他是在考虑一件对他约值99美元的事情。因此，这种超人的洞察力的价值，一定是99美元。

所以，这里是一个其中有大量的各种各样变动不拘的不确定的事情，可是根据他对风险、生命、死亡和疼痛的态度所作的一个非常简单的计算说明，为了确切知道如果服用这种药品他是否真的会罹受死亡的不幸事件，他不会愿意支付超过99美元

的钱。

与此相似，在任何其他决策问题中——而且还有些决策问题非常非常复杂，涉及到许多有连带关系的变量，我们可以确定在那个问题任一方面上的信息搜集价值的上界。然后，在实际作决策之前，我们就可以决定最好的信息搜集战略。



超人洞察力的价值为99美元

图4—7 超人洞察力的价值计算

4-9 决策分析循环

我们先谈一下方法论，然后再举个例子。当你

进行决策分析时，这能帮助你按照以下的思路组织自己的思想。首先，为这个问题建立一个决定论性的模型，然后衡量每个问题变量的灵敏度，这将揭示哪些不确定性是重要的。其次，估计这些不确定性的概率，并建立风险上的优先选择，这将确定最好的决策。最后，采用超人洞察力的分析价值，使我们能对搜集这个问题中的每个不确定性信息的价值作出评估。这个问题可能非常复杂，涉及到许多变量，建立模型和分析也要好几个月，但是，基本的逻辑则是相同的。它包括这样几种阶段：决定论性的阶段到评估灵敏度，概率的阶段到寻求最好的决策，以及由提供信息的阶段到决定在什么方向上新的信息将最有价值。当然，如果经济上合算，你可以尽可能多次反复进行这样的过程。

这正好说明如何从事专业性的决策分析。现在我们可以利用一个病历来表明那类问题能用这种方法研究解决。迄今所述的每件事情都带有一种朴素的特性。我们可以谈论以来年度薪水打赌，但实际上我们真正感兴趣的并不只是决策分析理论，而是决策分析的实践。

4-10 扩建动力系统的决策

让我们从公用事业领域中举个例子。它涉及到墨西哥电力系统的规划，而且是已经完成的最大的决策分析之一。因为它同系统工程中的问题关系最密切，所以我们选了这个例子。对它提出来的特殊问题是：墨西哥电力系统是否应建一座核发电厂，如果要建的话，那么，建立核发电厂的总政策应是什么？当然，在没有决定它们将如何扩展、如何运行之前，以及在没有定出它们的系统由始至终整个时期的价格之前，实际上我们不可能回答那个问题。所以，真正的问题是从现在到本世纪末的这段时间内如何经营墨西哥的电力系统（参看图4—8）。

墨西哥电力系统是非常庞大的国有化企业，其规模相当于美国几个州的电力系统。因为它完全是国有化的系统，所以它的设计人员遇到各种独特的问题，也有各种独特的机会。解决这个问题的基本思想是：首先要仔细考虑可能影响决策的各种环境因素，然后再考虑估量由各种特殊的运行方法所能得到的不同分量的价值。

4-11 投 入

首先，我们讨论投入问题。投入模型有四种：财政金融模型、能量模型、技术模型和市场模型。财政金融模型是同墨西哥电力系统在世界上的以及在墨西哥的金融市场中的财政环境有关。这些模型所提供的投入都是金额和在整个时期内能由某种财源借到这些钱的利率。若有必要，利率的大小带有不确定性。这个财政模型中有一种投入是由下级购买新股的优惠权偶尔得到的，称之为X。它是这个系统的帐面赢利。这个系统在整个时期中赢利的可能性和为资助未来扩建而能借到的金额之间有一种反馈，欠债和投资两种现金总额也是反馈的。

第二种投入是世界市场和墨西哥市场中的能源价格。对墨西哥有意义的事情是它几乎拥有各种可资利用的能源：煤、石油、铀和地热。当然，至少国际上有铀和石油市场存在，它们在整个时期内的价格变动会影响墨西哥电力系统的经济。

第三种投入是技术。这种模型根据型别、费用、效率、可靠性来描述发电设备和输电设备。它

包括象将来出现更好的反应堆的种种性能，也包括可以使他们的某些偏僻的水力发电地区变得更加理想的那些新的改进的输电系统的可能性。

最后一个投入模型是需求模型或市场模型，这种模型，根据一定的价格政策和一定的服务质量，按类别和地区表明将被消费的电量。于是所有这些都是墨西哥电力系统模型中的投入，然后这个系统才能运行。

4-12 产　出

我们不去细讲为描述墨西哥电力系统的运行和扩建而拟制的相当精致的模型。在此讨论中更有意思的是已经产生出来的这类产出。电力的消费和地区发电成本为该电力系统提供赢利，曾是很合理的产出。这种赢利曾经可以称为该系统的营业赢利或帐面赢利。如果投资者查看一下墨西哥电力系统的帐簿，那么他就会明白这种赢利是什么。曾经对这种赢利考虑过一种修订，就是由系统发生停电而造成的经济上的罚款。该系统提供的服务份量也加到帐面赢利之上，得出某种所谓系统利益。这是投资

者看不见的，但该系统的设计师却理会它。这种罚款使得他不愿意创造一个每次几小时停电的系统，即使这会更加有利可图，如果他只考虑帐面赢利的话。

社会价值函数。但是这里讲的产出中有许多项目在公司的收支平衡表上全然得不到反映，而我们可以把它们称为社会产出，并把它们纳入某种被称为社会价值的函数之中。

在这种情况下的决策人就是墨西哥电力系统的首脑。处在他的位置上，他感觉到有许多压力，不只是经营管理一个电力系统的平常的财政压力。还因为他的公司是国有化工业这一事实所带来的社会压力。例如，在他有利害关系的事情中就有一个是给墨西哥工业的好处。可能会安装的系统中哪些部件是墨西哥制造的呢？另一个就是就业问题。如果墨西哥人走一条路线同时反对另一条路线，那么他们将在什么水平上有多少人能就业呢？现在我们可以看明白，我们设计系统的方法，对于这些种类的产出将会有重要的影响。如果我们有一个核电力系统，那么我们也许要对少数几个高级技术人员进行训练，但绝大部分部件则要由国外制造；如果我们在僻远地区建立水力发电系统，则我们没有所祈求

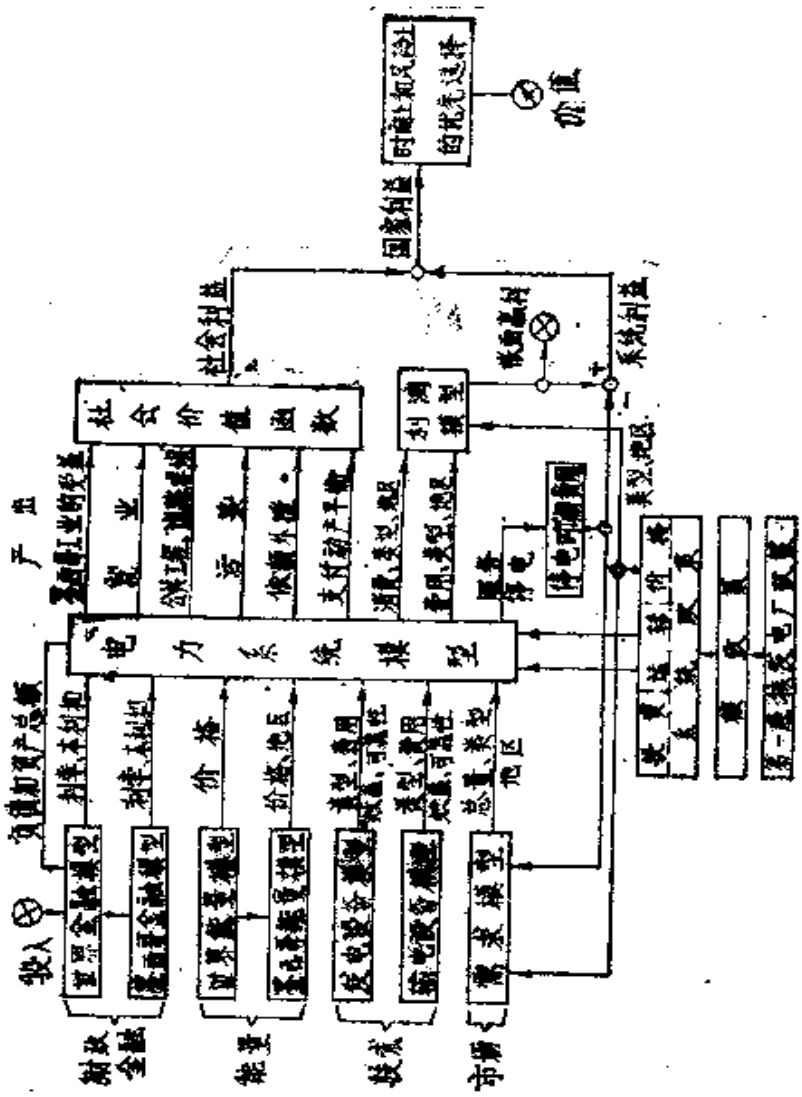


图4—8　墨西哥电力系统的决策分析模型

的墨西哥人的劳动大军。

另一个副作用是由于选择发电方式而出现的公共工程。例如，用水力发电，我们就要有道路、堤坝——即要有通道、防洪等等；而如果我们在墨西哥的中央流域建立大型核电站，那我们就不需要这类的设施。国际收支平衡乃是另一个要考虑的问题。当时，墨西哥并没有使它的货币贬值，这种货币与世界自由流通货币的比价是人为地以法令固定的。问题是如果我们打算规定进口限额制度，以图维持这种货币价格上的不一致，那末究竟应该由我们把这种办法包括在模型中，还是我们应当指明该政府的其他部门来负责进行这样一些调整。这就是关于支付平衡的全部影响。

还有两种产出可用来说明两个不同的特点。一种产出称为对外援的依赖性。在开始研究这事的当时，墨西哥人心中有一种忧虑，担心供应核装置的国家由于某种政治原因而变成敌人，断绝供应修配用的零部件、燃料或维修设施，象从前美国对古巴那样。要是那种事情发生，墨西哥当然会处于困难之中。问题是这对决策会有重大的影响，还是不会。对此他们可以花钱购买安全保障，办法就是贮存铀一直到能够补充供应来源的时候。但那是一

件实在令人烦恼的事，因为他们要切实做到能防止任何政治上造成的中断设备或补给品的供应。根据这项研究结果来看，整个这块地区是很不重要的。

另一种产出是污染。原先决策人对污染是不太感兴趣的。他们曾经说，他们无力为此操心。然而，如果你参观过墨西哥城，你就会知道那里的大气污染非常严重。大约一年之后，在这项研究已经结束的时候，他们非常高兴，他们在模型中已经为污染规定了地位。因为他们当时受到居民控诉正和我们在美国受到的控诉一样。他们正在规划的某些事情，例如象在墨西哥城市中心建立巨型烧煤的发电厂，就再也不可能被接受了。

由经营管理模型得到的社会产出，纳入社会价值函数就产生我们称为“社会利益”的东西，它代表在电力系统本身平衡表上没有出现的各种社会财产。社会利益同系统利益结合起来形成国家利益。以国家利益来表示时间上和风险上的优先选择，给出了这个系统作为一个整体的评价。

剩下来的问题是要找到一条能展示最高全面评价的扩建墨西哥电力系统的途径，为了在本世纪末以前实现这一目标，运用了各种不同的最优化程序，提出了各种不同类型的整套装置（燃汽轮机电厂、

核电厂、普通火力电厂和水电厂）。

4-13 政策的性质

我们简要地考查一下扩建这样一种系统的政策意味着什么。过去的共同政策是制定所谓工厂一览表，即各种类型工厂要在何时建立起来的表册——1979年我们将在Y地区建成X类型的工厂。这有点儿象询问一个刚当爸爸的人："你的儿子什么时候穿10号大小的裤子？"他可能看看预定成长图说："嗯！我想他9岁时就会穿这号裤子。"另一种回答这个问题的方式是说："嗯！当他的身材达到某种高度时，我将为他买10号大小的裤子。"这种我们可以称之为闭环政策，因为我们不能预先说明我们将在什么时候做这件事，但我们建立了一条规则，它将告诉我们做这件事的恰当时间。

因而当我们问到这个系统将如何由此及彼扩建时，却没有一个人能告诉我们，他们能向我们表明各种不同事情发生的预期时间，但事实上只有计划才能规定影响这个系统环境的未来演变发展是什么。它具有我们可以称之为自我复原的性质。如果

我们由于强迫它安置一个它不能立即吸收的巨型大工厂而把它弄糟了的话，那么它是在这样一种意义上的自我复原，即它将推迟并调整未来工厂的规模和类型，直到它又复回到最佳的进程。事实上，因为它乃是在时间进程中的一个成长着的系统，对我们任何极端愚蠢的行为，它都找得到规避的途径，所以它是能自我复原的。不管我们做什么，也很难把它搞得很糟。实际上，一旦他们把这种最优化系统正在做的事，与使用同样的信息而以他们的常规技术所得到的各种设计加以比较，这一系统在任何情形下都产生出优异的结果。

墨西哥的这项研究的规模是很有趣的。它大致相当于一个人八年的工作量，而斯坦福研究所决策分析组的全体决策人员再加上墨西哥电气委员会中精通核工程和动力系统设计的四名代表在一年之内就完成这项工作。这些计划和分析现在正在墨西哥用来继续规划系统的发展。

4-14 其他应用

其他应用包括工业规划方案——公司究竟该不

该合并，它们该不该生产新产品或者它们该不该开采矿山？根据我们在同行业中采用的标准来说，也许所有这些事情都可以正当地称为常规的决策分析。

在医疗领域中已经做过一些有趣的决策分析，象对胸膜渗出液的治疗，即处理在肺和胸壁之间胸膜腔中的积水，就是最近完成的一例。这是一位研究生一年的研究工作。就这位医生（他是肺科专家）而言，他把医生所知道的有关胸膜渗水的各种情况完全编制成码。后来有人问这位医生，如果本人出现了这种症状，他是宁愿用这个大型决策模型来处理呢，还是要他的一个同事来治疗？他毫不犹豫地说，他宁愿用这个模型。

最近刚刚完成的另一项研究是能否人工衰减威胁美国海岸的飓风。它是根据几年前对代号为“Debbie”的飓风所做的大型实验提出来的。这项实验表明，用撒播碘化银的方法来衰减飓风，可以使风力削弱15%左右，这样也会使因飓风造成的损失减少50%，当然这不是最终的结论。现在的问题是，如果你是白宫中的决策人，这里插来了一股强大的代号为“zazie”的飓风正向迈阿密袭来，你怎么办？难道你应当派出飞机去撒播碘化银吗？须

知，就是这样的话，仍有可能刚巧由于种种自然的原因使天气变得更坏，结果将会彻底毁灭两座城市，而不是一座城市。或者，在人民的生命财产也许还能得救的时候，难道你可以袖手旁观、坐视他们毁于一旦吗？这是个非常棘手的难题。它对社会有着严重的影响，而且肯定是一个在变化不定的情况下的决策。这个问题最近才提交给美国总统科学顾问委员会研究。他们已经组成了一个专门小组来考虑研究结果是否应当付诸实施。

4-15 结　论

我们已经勉力刻画了一门新兴行业的特征，这是一种把工程考虑和应用于其他工程问题的能力同类的东西引进决策的行业。这门行业现在已经进入成年时代了，这样说似乎是公道的。在决策人为一项决策着急的地方，也不用管它是出自什么范围，我们实际上就能把决策作为研究对象。唯一的限制性条件是，决策人正在进行分配的资源必须是现实世界的资源。我们没有能力分配虚无飘渺的希望，因为我们不可能保证履行它；也不能分配爱，那是

无限无穷的。然而，一旦落实到分配时间、金钱，或者一个人、一个组织本该进行分配的任何别的东西时，这种逻辑对它就有许多话好说。不错，正象我们已经考虑过的那样，关键是这样思想：要把好的决策同好的结果分开来。一旦我们做到了这一点，我们就有能力进行分析、度量和比较；这种能力和那种使任何其他工程学科具有实力的本领完全相同。

4-16 问答部份

问 职业决策人是直接处于最前线以他自己的名义作出决策的人，还是要有一个职业决策分析家像捉刀人那样，站在老板、董事长、公司总经理背后呢？

答 这是个有意思的问题。在律师行业中有一条格言：在法庭上为自己辩护的律师是把一个傻瓜给了当事人。而我认为这在决策分析中同样是真理。我懂得我绝不会要做我自己的决策分析家，因为我并不是超然客观的。从下意识方面，我就要想这个答案按某些方式呈现出来。

例如，如果我要对于为什么我应该购买一套新的立体声系统提出理由，那么我就会千方百计地使自己相信在这一分析中我战胜大量变化不定的因素，表明我会经常使用这套立体声系统，它对我很有价值，而且花费不多。但当我把这个问题带到一位身为决策分析家的我的朋友那里去时，他会说："且请等一下""一个月里你用多少天？""一天你用几个小时？""你要听的次数有多少？"很快他就把问题的实质弄明白了。在那种情况下我可能说："是的，我是在骗自己，这样一个系统不会全都刚好合适。"所以我想，我们将永远达不到那样一步——也不应该达到——既是决策人又是决策分析家。我认为决策人和决策分析家是两种很不相同的职务。一种职责可以破坏另一种职责。

然而，其结果是已经受这类事情影响的一些公司董事长开始考虑我在这里指出的方法，并按照他们自己的想法作些非常简单的分析。这很了不起。每个人都要懂一点科学、懂一点汽车结构、懂一点其他东西。这样他们就能把简单的问题解决得比较好些。但他们也应当体

会到，当他遇到棘手的问题——涉及错综复杂、变动发展、建立模型、以及我们已经考察过的所有其他事情——那么这无疑是要用到行家的时候了。我们可再用治病打个比方。当一个人感到头痛时，大多数情况下服用阿斯匹林是对的，但要是得了脑瘤，那最好不要服用阿斯匹林。重要的是要懂得事物的差别。

问 系统分析家和决策分析家相比，有什么不同？

答 我看决策分析家是这样一种人，他们把系统分析的复杂性和动态方面同处理不确定性和估量优先选择的能力结合起来，后者通常是与系统分析不相干的活动。系统分析这个词非常容易被误解，这是系统领域中的问题之一。在各种系统的职业中，许多小组和赌金保管者们对什么是系统分析家就有完全不同的看法。从用姆指轻快地翻动计算机装置中的穿孔资料卡片的人，一直到既懂得运筹学、管理科学又懂得各种工程学的人，都可以算是系统分析家。我不知道系统分析家究竟是指什么人，他是在上述范围之内的，但我不能说出究竟是何许人也。

问 决策的过程实际上是否会得出统计意义上的决

策，在这个问题上是不是还有有用的信息呢？

答　我想你会摇头说："不行"。让我们回到上述以5美元和0～100美元掷硬币的赌博上来吧。在一次投掷的决策中，我们怎样才能衡量具有统计意义的东西呢？这就发生了我们采取什么概率观点的问题，我们现在说的是统计意义的完整概念，是同作决策的观点大不相干的，因为我们通常都是在一次投掷的形势下作决策。我们不能发射一千次阿波罗火箭，看看有多少次成功，多少次失败。我们必须作一次发射的决策——我们现在是开始呢，还是不开始发射？其中根本不会出现任何统计问题。我从来不觉得自己要用那些名词。在制定合乎逻辑的决策中，我发现它们没有任何用途。

问　关于估价决策的定性效果，你能提供一些参考意见吗？

答　你的意思是指所谓"不可捉摸的方面"吗？关于这一整个领域的文献是大量的。一般说来，我们所讲的并不是可捉摸与不可捉摸的问题。如果我们举墨西哥的例子，人们会说污染是不可捉摸的，或者说对国外供应的依赖性是不可捉摸的。但实际上它们都是实实在在、明确具

体的事物。为什么你会愿意为那些不可捉摸的东西付款呢？我们所说的是让我们取所有那些对你有正的或负的价值的东西，并在这些东西上标上价格。换句话说，如果今夜你愿意去郊外呼吸新鲜空气，而不愿意呼吸烟雾弥漫的空气，那么让我们谈一谈这对你有多少价值。你出去吸一夜新鲜空气并不值100美元，因为这样你会破产的，——这种价值会与你的其他需求矛盾。但我敢打赌，它值1美分。这样我们就开始把许多人认为是不可捉摸的东西标上几元几分的价钱。最后我们发现自己在用美金表示的各个价值之间进行比较，这倒不是因为美金在某种意义上是任何事物的最终衡量标准，而是因为金钱是社会为卖掉一种东西来交换另一种东西而准备好的拉格朗日乘子。

问　为了这样地思考，你必须深信的公理是什么？

答　让我们来讨论其中一个公理。你必须有传递性的优先选择，即你必定进行这样的推理：如果你喜欢A胜于B，喜欢B胜于C，那么你必定喜欢A胜于C。我原先要证明的有一点就是：人们往往并不是传递性的。我也许能够正确地向你表示不可传递的优先选择。但问题是：如果

你向我举例说明我是非传递性的人，我是喜欢它呢、还是不喜欢？我不喜欢它。我不喜欢它的理由是在那种形势下有人能把我的金钱抽走。我将为B交换A，为C交换B，再把C返回到A，全都是高高兴兴地付出钱来作这种过渡，而他恰好正在一点一点地把我的钱取走。所以不可传递的优先选择权的整个思想是一种我不想要的东西。这正是我们在这里工作的奠基石，因为与之相反的是你的资源将被耗尽。

问 你能进一步评论一下关于生命的价值吗？譬如说，你能否通过观察研究各家公司制订涉及生命的决策的方法来推断人命值多少钱？

答 嗽！我从来没有做过那样的事。当然全世界都在研究对生命的价值。遗憾的是，不同的社会生命的价值迥然不同。但几年前我曾看到一份分析对比研究的材料，标出当时一条人命的价钱，例如在美国值100,000美元，在日本值10,000美元，而南越大约值700美元。

有许多方法你能确定人命的价值，例如，你可以考查历次汽车压死人，陪审团判定赔偿的现金数量。现实的问题不在于人命的准确价值是多少，而在于在一种形势下规定的价值与

另一种形势下规定的价值是否始终一致。关键是，生命是宝贵的，生命是无限可贵的。我们现在不是谈论，你愿意为了什么去出卖你的生命——这根本不是问题。问题是你愿意购买生命是为了什么？这是言行不一致：嘴上说生命可贵，而随后出去坐车又不系上安全带。你现在所作所为和在别的时候所志所欲判若两人。

的确，我想要为我自己提个数字（我不能说对其他人也应该提个数字），当人们制订种种关系到我的生命的决策时，我要他们把这个数字当作我的生命的价值。如果我把它定价太高，我马上就得把钱用光，因为我的汽车就会有10吨重，看起来就象一辆坦克。如果我把它定得太低，我就不能冒险出门。

你问得更明确些，就是，你是否能够根据从前的公司决策来规定人命应该值多少钱？

嗯！首先，我怀疑任何一家公司曾经按我现在所说的这种意义上规定过数字。也许他们曾直觉地这样做过，但态度并不明确。我可以猜到，今天在美国，如果他们要规定人命的价值，它将是100,000美元至500,000美元。

问　如果这类概率果真非常难以确定，以致你不得

不告诉委托人，你不能为他进行分析吗？

答　不，从来没有发生过那种事。让我给你举个例子，它在决定是否应该引进新的核动力反应堆设计时出现的。核燃料外罩的使用寿命是关键性的变量。外罩是由以前从未提出过的材料制成的，而根据这个新的设计进行的决策将取决于这种材料究竟如何制成。

这家公司有三个人最了解这种材料会维持多少时间，他们被召集并被告知说："注意，虽然这种材料以前从未制造过，我们也得要对它的使用寿命的概率分布提出建议"。他们是被分别接见的，因而彼此不知道别人的答案。他们给出的答案如图4—9所示。第一个受测试人估计使用寿命会超过13的约有80%的机会。根据接见的次序，我们在图中用"+"表示第一个受测试人所给出的答案序列。然后会见第二个受测试人（图中用"○"表示）。在图4—9中你可以看到他独自提出的答案。"□"表示第三个人的看法。现在如果你仔细查看这些结果，你就会发现它们非常地相似。然而这些答案并不是一致的。例如在向以圆圈为代表的受测试人提问中有一点说寿命超过17的机会是

0.25。而另一点说机会是0.2，概率相差0.05。但当你想到这些答案可能出现多么大的差别时，我却发现它们的一致性是很突出的。

然后，让三个人再回到一起，并开始交换信息。后两个受测试人同第一个受测试人相比是悲观的，他们俩认为材料寿命短暂。后者向他们指出，因为他最近做过实验，他们担心的某些事情实际上并不重要。换句话说，他们已交换了信息。

最终发生的事是一样的。他们会谈的结果，乐意描绘出一根实心曲线，代表他们对这一材料将耐用多长时间的一致意见。当他们把这条曲线呈交给老板、即总管各项工作的经理看时，他才第一次感觉到，他是在了解他们打算给他的消息是什么。他认识到他们并不打算推托，而是真诚地不敢肯定这一材料的寿命究竟会有多长。这种不确定性的程度是由他们一致同意的拟合曲线表明的。

由此就可以回答你的问题了。首先，因为根据参照过程你总是能够规定概率分布的，所以我绝不会有那样的问题。基本的思想是说：你是宁愿在材料的寿命超过14时赚得100万美元呢，

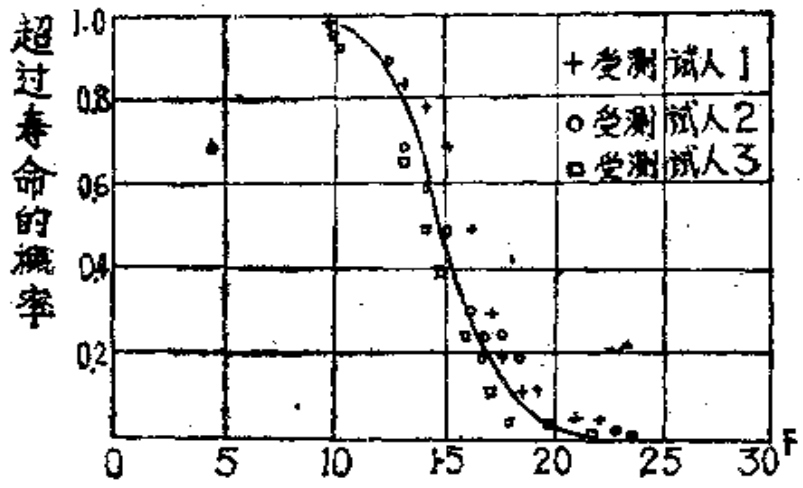


图4—9　预测材料寿命

或是宁愿在出现钱币正面朝上时赢得100万美元呢？无论是出现钱币的“正面”朝上，还是骰子出现某个数字，你都可以调节参照过程，直到你在这两个过程之间不偏不倚为止。但要害是，当人在他的生活中每天总是在与某种事物打交道的时候，当他正如前面所述的那些受测试人一样是这方面专家的时候，如果你问他们多瑙河有多长或其他别的他们未曾见过或想过的事情，那么他们的答案总是比你所料想的要更加一致得多。在你思索确定概率问题时，从抽象方面看来，似乎它可能是个问题，在你真正面临着决策时，原来它竟不是什么了不起

的问题。

问 究竟决策分析能不能断定进行决策分析是否值得呢？

答 你可以先作一下粗略的分析，然后才能提出进行精细的分析有多大价值的问题。雇用一名决策分析家的这项决策本身，就象任何其他的决策一样，是一项可进行分析的决策。

我有一条经验规则，我一直感到它在我自己的生活中是有用的。为了弄明白我那些资财得到一个良好的分配，我至少宁愿花掉百分之一我正在分配的资财。如果我要购买一辆价值2000美元的汽车，我至少要花20美元来证实这辆汽车对我是适合的。不确信无疑是就绝对意义上说的，——而确信则是在这种意义上说的：倘若已知在这个问题上我的时间和利益的限度，我将全力以赴之。

在考虑专职分析时，你应该承认非常需要决策分析家。他们应获得一笔特别优厚的职业薪水。因此，决策分析不会是便宜的。然而，就我所知，至今还没有一个这样的决策分析，决策人把他得到的那些深刻的见识同他花去的金钱相比而不感觉很合适的。

问　与其从这个过程中完全排除直觉，你倒不如简单地把直觉从决策过程中排除出去而又迫使它回到决策分析中去，真是这样吗？

答　对的。我们并不是不考虑判断、感觉、意见或诸如此类的东西。更确切地说，我们是在用数量来表示判断、感觉、意见等等，并且把它们放入可以对它们施行逻辑运算的形式之中，而不是把它埋藏在一个人的心中使我们无法接近它们。在概率分配、全部估价和优先选择都必须来自决策人这个意义下，那是一种很主观的判断过程。实际上，这正象恺撒的东西应当归还恺撒那样*。我们要说的是，要让作概率分配、又有优先选择权的经理把他的时间专门用于查明这些概率分配和优先选择是否确实表现他的真正感情和真实的态度。逻辑上的问题应由特别能胜任这种工作的电子计算机来处理。实际上，这就是“分而治之”，听起来好象是件小事，但它的威力却很大。

---

* 见“马可福音”第12章第17节。Caesar从奥古斯汀至哈德瑞恩的罗马皇帝称号。它象征的非神职权力和暂时的最高统治者作为他的臣民们服从的对象。因此，有这种说法：恺撒的东西应当归还恺撒；上帝的东西应当归还上帝。——译者

问　除非决策人有健全的优先选择，我就看不出决策怎么能是好的。

答　对的，如果一项决策同决策人的抉择机会、信息和优先选择符合一致，它就是好的。从旁观上看，我会认为，他作出这样的决策，简直是一个白痴，可是这却是他的特权。一个人到拉斯维加去赌博而且输掉了钱，但他说："在那里我能尽情作乐"。"我高度评价这种感受"，从这种意义上说，我们的理论是不属于道德范畴的。好！他已给出了他的价值标准，他在发表一个我不能不同意的声明。

问　关于探寻新的选择方案和分析已有的方案之间的平衡问题，你是否愿意加以评论？

答　不错！你不能挤出一个新的选择方案，但你怎样得到一个又新又好的选择方案呢？举例来说，我就象一位老工程师，发现万事都不如分析现有的设计，查看它的弱点，并提出那项设计中的改进意见。我认为这在一项决策中同样是对的。我们常会发现具有这样性质的两个选择方案，一个方案在某一方面有缺点，而另一方案在其他不同方面也有缺点。有人会建议，把这两种方案结合起来创造一种同时具备两者

优点的新的选择方案。这往往是可行的。这些优点是新的想法，它们并不是以前有决策问题的人原先提出过的。采用这样一种方法来得到更好的选择方案，并没有什么不可思议的地方，但它往往证明了创造性是这种过程的副产品。

问 为什么你相信用决策分析得到的结果比遵循直觉所得到的结果更好呢？

答 这实际上是有信心的行为。让我们来看看每次付5美元抛掷硬币作0～100美元打赌的人的情形。我对他说："那是个好的决策。""我已经查明你的财政状况，我们同意那是个好的决策"。而他说："是的"。于是他叫正反面，结果他输了，因为他毕竟仍有一半失败的概率。然而，另一个人说："我已查看过斯瓦密*的眼睛，我应该喊'正面'"。于是他喊"正面"，结果赢了。究竟哪个是较好的决策程序呢？实际上它是有信心的行为。建立在你信仰的各项原则基础上的逻辑程序总是比其它程序

---

*斯瓦密（Swami）印度教的导师，是个博学多才、神通广大的人。这里指神象。——译者

更好。我们根本无法证明求助于占星术的人所采取的行动有任何方面不如我们现在所提出的方法。问题在于要由你自己决定究竟征求谁的意见。

问 总是有可能获得更好更完备的信息从而作出更好的决策吗？

答 并非如此。例如，在下个飓风季节里，倘若有一场大的飓风将袭击迈阿密，你在哪里能获得更完备的信息呢？决策必须根据当前能用得上的信息来作出。

人性的经久不衰的特色之一，就是这种寻求确实可靠性。要说搜集情报花钱太多，那也宁愿如此而不愿为此花钱太少。我们坚持寻求这个确实性的“圣杯”而不打算去寻找更好的选择方案或刚刚在作决策就开始某种别的事情。我看一切都为建立数据库而行动是这种寻求确实性欲望的病兆，这样做是毫无希望的。

问 管理行政业务的负责人之主要职能难道不是有本领认清何时应当作出决策吗？

答 是的。例如，一家大公司的总经理面对一项引进新产品的决策。他知道他心怀这个决策，他为此而焦虑不安，不知道如何是好。他有各种

复杂而不易估价的选择方案，并且他也懂得直觉对他不会有多大帮助。因此，他请求决策分析家把各种方案加以分选，取得各种概率分配，构造各种模型，提出种种不可靠的事供他查阅，等等。

问　决策分析家是不是要创造概率？

答　不是，概率并不是从分析家那里得到的，而是来自决策人、他的专家们，而且可能来自外面的专家。我不是研究飓风的专家；我不是研究医疗问题的专家；在墨西哥电力系统发展速度或诸如此类的事情方面我也不是专家。上帝禁止我们要想在我们参与的一切不同事情方面都成为专家。搞我们这一行的人，只是为提出更好的决策从专家那里提取信息，从决策人那里得到优先选择，在构成决策问题的模型方面是专家。这是非常细致的一种职能区分。

问　如果我采纳这种方法并把它用于各种不同的决策，如果过一会儿，我又发现这种方法所产生的有利后果往往不如我常用的老方法，那么我不得不作出这样的结论，你告诉我们的“好”字意义是相当奥秘的。

答　那是你不得不作出的结论。

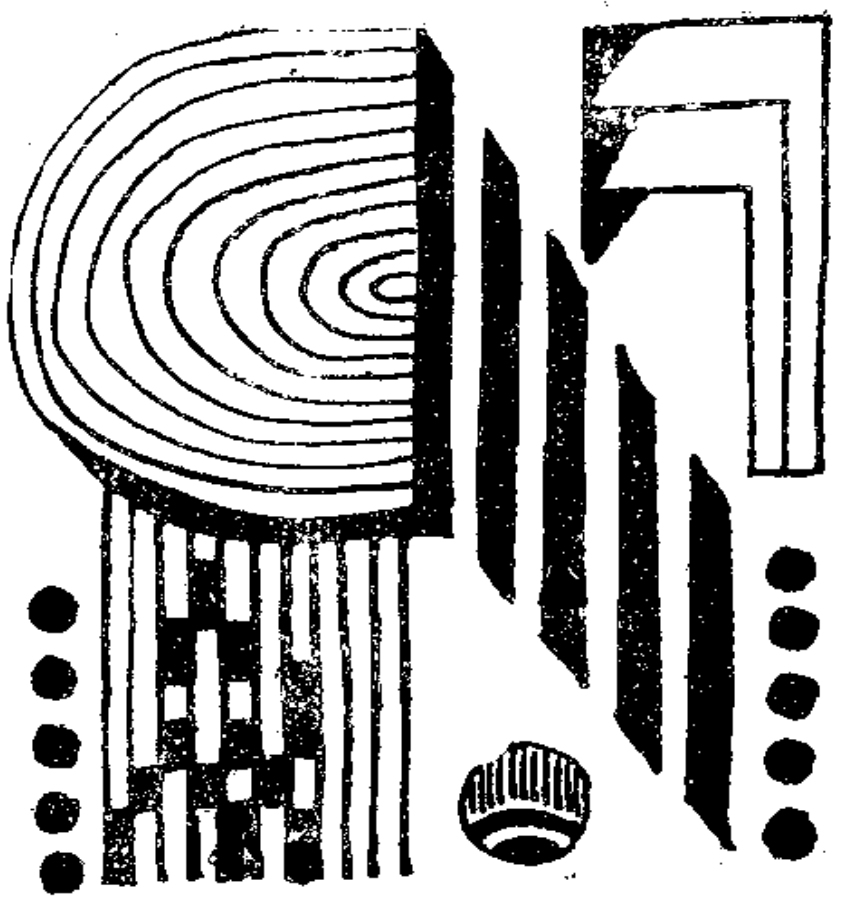
问　但是如果它有实际价值，难道它不一定会产生更多的好结果吗？

答　问题是，如果你再一次面临同样的形势而又不知道它将产生怎样的结果，你是否会作出同样的决策。我认为支付5美元作0～100美元输赢的掷硬币是个好决策。我甚至愿意这样赌它几次，假定我总是输掉，我就要仔细看看硬币，考虑人们骗我的所有各种各样的假设。硬币正反面相同？熟练的手法？不过，我确信这里真的没有发生任何“阴谋诡计”。好吧，于是我就不会放弃这种理论。即使我连续输掉了五次、六次——这并不是不可能的事件，我还会说：“不错，它仍旧是个好的决策，再来一次”。在我没有发现更好的理论之前，我将一直沿用这个理论。而我到现在尚未发现一个更好的理论。

问　而我们的目标难道不应该是使取得好结果的可能性达到极大吗？

答　当然，如果我们大家都希望快乐，我们大家都想要好的结果。现在立即就作出这样的规定。每个人都宁愿要好的结果而不要坏的；都宁愿要结果多的而不要少的——问题在于我们怎样

达到这个目的。你能控制的唯独只是决策，以及你如何进行决策。那是个关键问题。当你集中考虑那个问题时，我认为你必须按我们讨论过的方法去做。



第五章

分而治之

决策过程中如何使用似然和价值判断

W·爱德华兹·

•沃德·爱德华兹（WARD·EDWARDS） 密执安大学科学技术学院公路安全研究所副主任、工程心理学实验室主任、心理学教授。

5-1 主 题

决策分析的主题是“分而治之”。我们首先考察这是什么意思。然后我们再讲用例子——研究的和应用的例子——来说明怎样运用那个主题。

决策是、而且应当是人类固有的一种主观活动过程，这一假设是我们的出发点。许多人以为，一旦你说智力工作是主观，它要由人来做，它依靠于人的判断——你就及格了。分析到此为止。我不同意。内在的主观过程完全像其他任何过程一样，都是科学理解和技术进步可以处理的。

“分而治之”概括了这些技术进步的策略。

“分而治之”的基本思想是由三个步骤所组成的。第一步，你接受你的认知任务，你的智力工作——不管它可能是什么样的工作任务——按照自然解理纹路把它分成一块块细小的部分，至于那些解

理纹路是什么，那要取决于工作任务的性质。这是一个分析的步骤。第二步，对于这项工作任务由你分成的各个部分，你要分别作出判断。这些判断一般是用数字表示的，在我的工作范围内总是如此。第三步，利用一种适当的形式的结合规则，把这些判断结果重新集合起来。这是一种结果估计的步骤。

为什么这（即“分而治之”）是完成认知作业的好策略呢？部分理由是来自理论，部分理由是出自经验，而且从下文看更有道理，因此我们现在不去议论它们。用上这个策略的工作任务分为三大类。第一类是诊断的工作，根据不充分的迹象断定我们周围环境中正在发生什么事情。（在作出决定的现实领域中，信息几乎总是不充分的）。第二类是评价的工作，规定各种实体的价值，这些实体可以是各种成果，可以是各种社会纲领或组织机构方案，或者任何事物。然后把这些价值连同诊断过程所得出的种种概率用于第三类工作，即决策或抉择。

与这三种不同的智力工作相关的是三类不同的结合规则。适合诊断工作的结合规则是概率论中的贝叶斯定理。适合评价工作的结合规则并不比加权平均的思想更复杂。适合决策工作的结合规则是使预期效用达到极大的思想。

5-2 诊　断

每位严肃的决策人都碰到诊断这个问题。当然，“诊断”这个名词使人连想到医生诊所，或医院里理应做的事。实际上，这是诊断的一种场合。商店经理要想断定他的商行是否应当引进一种新产品，他就要进行诊断；军事指挥官在试图弄清楚敌人正在干什么，他应该采取什么相应的行动的准备时他要作诊断；情报分析家，从政治角度而不是从军事角度审查大量同类性质的问题时，他是在作诊断；行政长官在力求估计某一社会问题的目前状况时，他要作诊断；诸如此类的问题，无一不要作诊断。总而言之，诊断是非常广泛的人类行动。

我曾经遇到过的几乎每一个在现实领域中实际诊断的人，都因为情况不明而感到需要更多的信息。如果他可以自由使用财力物力，并且有机会的话，那么他就出去搜集更多的资料。当然那是耗费钱财的。此外还有许多情况，决策人正好拿不出钱或抽不出时间。在一些类似博奕的形势中，搜集额外的情报是不明智的，因为这样会暴露你的策略。

搜集新的情报往往不是解决不确定的问题（即诊断问题）的答案。

取舍就是更好地利用已经到手的情报。让我们举一个军事方面的例子。如果我们不喜欢军事实例，那么我们可以很容易把这方面的实例转换成商业方面的情况。比较一下现代军事司令官所处的局势与公元前356—323年马其顿国王亚历山大大帝所处的局势，看看我们社会的技术资源是怎样用于诊断问题上的。亚历山大依靠人的肉眼作为他的基本情报源泉。而二十世纪的司令官们也用眼睛，但是加上了广泛使用各种各样技术上非常精致的探测仪器。亚历山大依靠骑马的人给他传递消息。今天，司令官却使用以光速传送的各种电子通讯设备装置。亚历山大依靠各种测绘图以适当的形式记录和显示情报，从而他能利用这个情报。现代司令官也利用各种测绘图，但是这些图往往是高档电子测绘仪并附有其他非常精致的显示器。亚历山大依靠骑马的人把他的决定送到那些负责执行他的决定的人们手中。现代司令官又是用电子通讯系统来传达命令。

但是，关于这个工作的中心部分的情况怎样呢？这个任务的中心是诊断，它包括看资料，并在

想出该采取什么相应的行动之前弄清楚它意味着什么。亚历山大大帝曾经是怎样做这件事的呢？他查看资料，也许会搔搔他的脑袋，然后下了决心。现代军队司令官又是怎样做的呢？他看资料，搔脑袋，并下决心。乍听起来，似乎从亚历山大大帝时代以来在有关诊断的信息处理这个中心任务方面并没有出现多大的技术进步，那是事实，不过就此而言，还有些事可做。为了说清楚，我们必须暂时退入抽象概念之中，然后再返回到现实问题。

5-3 概　率

什么是概率？当然，概率是一个数，一个介于0和1之间的数。0的意思是指不可能存在或不可能出现的；而1是指必然存在或必然出现的。如果我们承认，钱币既不会以它的棱边接触地面，也不会由于一击而落下却又完全不着地面，那么我们就必须承认，出现钱币“正面”的概率加上出现钱币“反面”的概率，其和为1。用更正式一点的说法，这些性质蕴含着称为概率论的那个由形式概念所组成的美丽实体的一切。因此，如果我们提出什么是

概率——我们确实提出过这样问题——我们就应该说，这个问题提得不妥当。一种较好的表达方式应该是：你怎样才能知道当你沿着大街走去会碰到它的概率呢？或者用不大富有想象力的语言来说：人们应该按照什么辨别规则把人们可以观测的事件同称为概率的抽象数字等同起来呢？

那些规则中有一组对我们是如此熟悉，以致我们决不会对它们产生疑问。假定我们要估计掷这个钱币得到“正面”朝上的概率。我们可以掷它100次，并且观察到有57次“正面”朝上。坚持各种信念的或然论者，都会同意从100当中出来57这个数目同“正面”的概率有某种联系。〔就我的知识所及，心理学家博林1941年提议100出57是出“正面”的概率之前还没有人这样讲过；他的确在一篇著名论文中，提出过这一论点，那些珍爱科学古董的人会发现这篇论文是很有趣的。〕一组概率的辨别规则是从留心注意我们在掷100次以后，停止了掷钱币这样一个实际上是偶然的事件开始的。我们可以无止境地继续掷下去。在形成一个抛掷序列的过程中，我们也形成钱币“正面”朝上的次数与抛掷总数之比的序列。假定在抛掷次数无限增大时，这个比值的序列逼近一个极限。然后，我们可以把这个

比值的序列所逼近的极限定义为钱币“正面”朝上的概率。这就是概率辨别规则的频率集合。并且如我们上面所述的，这些规则是如此熟悉，任何人也决不会提出什么疑问。虽然它们存在一些问题。

一个明显的问题是与进行重复观测的条件有关。例如，假定我们掷钱币是把它放在张开的手掌中上下跳动。难道我们会认为这是估计“正面”朝上概率的一种适当方法吗？我们希望不是如此。走到另一个极端，假定我们用一台完善的钱币抛掷机，它每一次总是以同样的方式抛掷这个钱币，并且我们每一次都使用同一个钱币，按同一方位投入机器中。这是不是估计“正面”朝上概率的一种好方法呢？大概也不是——因为要是这台机器每次以同样的方式抛掷这个钱币，我们每次就会得到同样的结果。那么，究竟应该怎样重复观测呢？如果在你的概率论教科书中，正好有一页的下面，你看到小字体印刷的脚注，你会发现，观测应当在“实质上相似的条件”下重复进行。这是什么意思呢？这是说条件是充分相似而又不太相似。显然，规定什么时候条件是充分相似的，这个任务是相当主观的，所以辨别规则的频率集合并不如它看起来那样客观。这并不是说不能用算法来指导测定工作。各

种统计意义上的测试都是想要回答这样一个问题：条件尽管不同然而足够相似，是否可以用它们来估计相同的概率。但是统计意义上的测试本身就是多少有点主观的方法。

不过，重复观测的规则之主观性并不是辨别规则的频率集合的主要缺陷。辨别规则的频率集合的主要缺陷倒是大多数我们不能确定的问题并不容易用相对频率来处理。所以，如果我们采用频率规则，那么我们就不能用概率论的形式工具来描述和处理这样一些不确定性。

请考虑如下情况。我要离开洛杉矶。我要从一个机场起飞。这将是洛杉矶国际机场吗？你可以考虑有关的相对频率。例如，从洛杉矶地区内的各个机场乘飞机走的所有旅客之中有百分之几的人是由洛杉矶国际机场离开的呢？现在我要再加上另一条信息：我是乘自己的飞机从这里飞走的。如果你知道加利福尼亚理工学院距另一个机场比距洛杉矶国际机场更近的话，那么，这个信息就从根本上改变了这个概率。但是，你如何用相对频率来考虑那个信息呢？我不知道。

辨别规则的一种限制性较少的集合是更可取的——它容许我们用概率的方法来描述许许多多的不

确定性。幸亏存在着这种集合。这个集合在现代之所以能够复苏主要归功于L.J.萨维奇。他早死了，生前一直是耶鲁大学的统计学教授。这种理论认为概率是一种判断。如果概率是一种判断的话，当然是指某个人的判断。它描述个人要比描述事件更多。这种概率称为个人的概率。我要常常用这样的说法：对某件事件或某个假设"你的"概率，这里提醒你们，概率是个人的，这样做，我是在恭维你，因为不是所有的判断都能够成为概率。诸概率必须加起来等于1，这确实是十分当刻的要求——如此苛求，无论何时也没有一个人的判断能够满足这个要求。因此我所说的这个"你"多少有点是理想化的你，完全始终如一的你，是你想要成为那个"你"而不是你现在这样的你。

5-4 贝叶斯定理

贝叶斯观点是众人皆知的。贝叶斯定理很平凡，它是诸概率的总和为1这个事实的一种直接的、毫无争议的结果。以前，贝叶斯统计方法和经典统计方法之间的矛盾很大，现在，根据一些"统计学

者”的意见来看，事实上仍然有很多的争议。为什么？

假定你想要知道以已知条件D为根据的假说H_A的概率，贝叶斯定理就指出：

$$P(H_A|D) = \frac{P(D|H_A)P(H_A)}{P(D)} \qquad (5-1)$$

用语言来说，根据D求H_A的概率的方法是：假定H_A在D出现之前的先验概率为$P(H_A)$，乘以当H_A为真时D被观察到的似然率〔这里用$(P|H_A)$来表示〕，再除以正规化常数$P(D)$，就是所求的概率。

分别对H_A和H_B写出方程（5—1）的两个式子，然后用一个方程除以另一个方程，就得到贝叶斯定理的一个便于运算的形式。消去正规化常数$P(D)$，其结果为：

$$\frac{P(H_A|D)}{P(H_B|D)} = \frac{P(D|H_A)P(H_A)}{P(D|H_B)P(H_B)}$$

或者，用更紧凑的记号表示，

$$\Omega_1 = L \cdot \Omega 0 \qquad (5-2)$$

这里，$\Omega 0$为$P(H_A)$与$P(H_B)$之比，称为先验

概率比，Ω_1则为后验概率比，而L在统计学中被称为似然比。

既然贝叶斯定理显得很平凡，为什么还很重要呢？这是因为，如果概率就是判断，那么贝叶斯定理就是一个形式规则，它规定应当如何根据新的信息来修正或更改那些判断。而根据新的信息修正原先的判断在另外场合下也叫作信息处理、信息诊断等等，这是最重要的人类智力活动之一。

5-5 人在推理中的保守主义

这一切好倒是好，可是我是一个心理学家，不是统计学家，也不是数学家。作为一个心理学家，每当有人教我一个规则表明人应该怎样思维，我总是兴冲冲地把它同实际上人是怎样进行思维的加以比较。因此，我想请读者在与那个问题有关的一个实验中作一个实验对象。设想一个装满扑克牌的口袋。在我的办公室里我保存着两口袋扑克牌，其中一袋有70张红牌和30张兰牌。另一口袋有70张兰牌和30张红牌。我掷了一个相当完好的钱币来决定选择哪一袋，这就是给你的。问题是选出红牌占多数

的那一袋的概率等于几？根据上述意见，我希望你赞成我的看法，它是1：2。诚然概率就是判断，你有权利提出自己的看法，但是，如果你的看法与那个数大不相同，那么我们就真正信息不通了。

现在让我们考究这样一种证据，根据它我们可以修正那个概率。我伸手到口袋中把牌搅混，随意抽查一张牌，记下它的颜色之后放回到口袋里，再搅混，再抽查。这样作12次。结果是8张红牌，4张兰牌。根据所有这些数据，它是红牌占优势的那一口袋的概率等于几？显然，你能够作形式计算。但是不要这样做，而是尽可能运用你的直觉。你会发现在页边的空白处写下你的估计值倒是个好主意。*

托马斯·贝叶斯牧师是位业余的概率理论家，他极其走运与数学家拉普拉斯常有通信往来。在贝叶斯的著作中的任何地方我从未发现有明晰表述了的贝叶斯定理，但是可以从他的著作推导出来。假若贝叶斯牧师是他的试验中的一个实验对象，而且假若他的直觉真的很好地由这个定理描画出来（这一点我怀疑），那么他会给出的答案一定会

* 以前在加州理工学院教学采用这项演示方法时，所得到的答案约从0.55到0.99；模态值在0.70到0.80之间，绝大多数的答案是在0.50到0.90之间。

是0.97*。这个数字大概会使你吃惊。这个例证的目的在于说明人都是保守的信息加工者。不可能从证据中推断出如同证据所证明的那样多的确定性。

关于人在推理过程中的保守主义，这一课题大约已经探讨了十年之久。早期一篇有代表性的论文是菲利普斯和爱德华兹合写的。根据菲利普斯和爱德华兹的数据，70—30对称的二项试验得出的典型结果，图5—1已经表示出来。请注意，图5—1中y轴上的间距是用对数表示的。这样的间距以及这些独立变量和应变量恰好使得贝叶斯定理变成线性关系。人类的行为也是相当线性的。然而并不是同一条直线。人类都是保守的信息加工者。大量的研究表明人是保守的信息加工者，主要是由于他们错误

---

* 为了计算这个0.97，请利用方程式（5—2），$\Omega_0=1$，对于这样两个假设的二项分布有：

$$L=\frac{P_A^r(1-P_A)^{n-r}}{P_B^r(1-P_B)^{n-r}}$$

其中P_A和P_B分别由A袋中和由B袋中取得一张红牌的概率，r是抽样中红牌的张数，n是样本量。在这个例子中，$P_A=(1-P_B)$，因此

$$L=\left(\frac{P_A}{1-P_A}\right)^{2r-n}$$

$2r-n$是抽样中红牌数与兰牌数之差；有时用符号S－f(成功减失败）表示。于是$\Omega 1=L=(0.7/0.3)^4=29.64$，由于$P=\Omega/(1+\Omega)$，就得出$P_1=0.9674$。

地聚集证据。也就是说，他们对于单独一个数据，可以相当准确地判别它在诊断方面有价值含意。但是他们不能适当地把许多数据放在一起。他们的聚合规则是错误的。

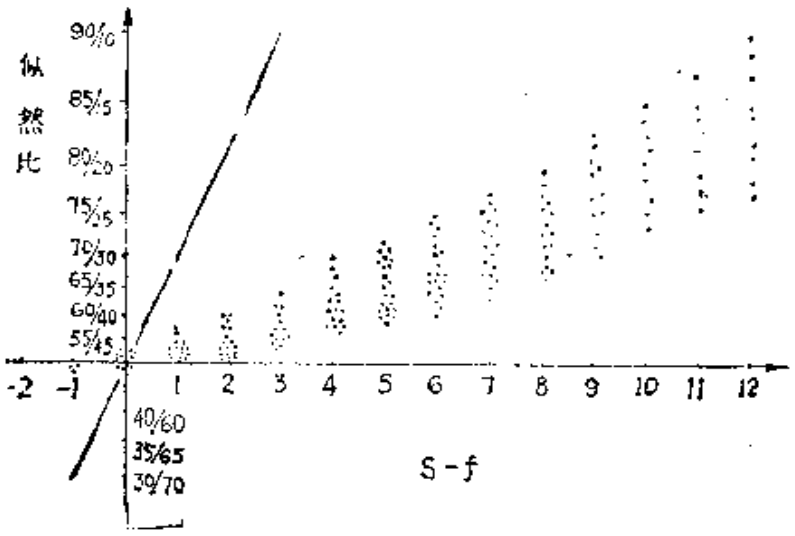


图5—1　一个实验对象对0.7的P之种种估计，用推知的对数似然比表示为抽样中成功次数与失败次数之差的函数

在实验室做的许多代表性试验表明，人们浪费了他们有用信息的百分之50到80。信息是昂贵的。这样浪费掉的费用必定是而且确实是庞大得惊人的。

5 6 分 工

但是，我们知道信息处理的一个形式上的最佳的规则，就是贝叶斯定理。它不浪费任何信息。利用贝叶斯定理来进行我们的信息处理，我们大概就能够避免人类的保守主义。

请考虑一个例子。她是年青的、她是漂亮的，而且这是你们第一次约会。当然，晚会的情况怎样，你有许多假设，但为了使这个例子简单一些，我把假设的数目减少到只有两个，我可以把它们记为“是”与“不是”。根据你的先前的经验，关于“是”的概率你有某种判定，而如果你的先前经验和我的经验是可以比较的，那末，这个数字既不是0也不是1。所以这是一种真正不确定的情况，一个你想要肯定地而不是因循守旧地处理那个陪随信息的情况。我们来考虑这样一个证据。当你护送她走出她家大门时，她挽着你的手臂，并紧紧地偎依着你。噢！这是一个证据——当然不是结论性的，这是一种意向，也可以是别种意向。另一方面，它也不是完全无关的证据。简而言之，正是为了这种

非结论性的证据，贝叶斯定理才被设计出来。为了计算这种必要的似然比，我们需要假若结果为"是"她挽着你手臂的概率。而且也需要假若结果为"不是"她那样做的概率。我们甚至不十分需要知道这些数是多少——我们仅仅需要这些数的比率。但无论是那些概率，还是那些概率的比，都是不容易得到的。

诚然，困难在于"口袋"和"扑克牌"这样一些例子中我们所处理的是数学家称为伯努利过程——一个数据产生过程的形式模型，由此我们能计算出那些概率。可是在那些现实世界的实例中，我们没有这样的模型。

这证据表明人类能够很好地判别单独一个数据在诊断上的意义。但他们所不能做的是把这些单独的数据归并在一起。贝叶斯定理是把这些数据合并一起的形式规则。而这一点表明了人和算法之间的分工，人去判别单独一个数据在诊断上的含意，贝叶斯定理则把它们聚合在一起。分而治之。

5-7 概率的信息处理系统

图5—2 用一个方框图来说明一个稍微特殊一

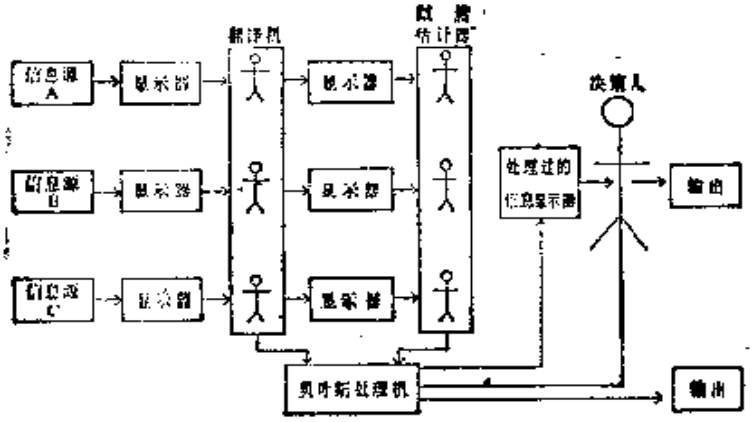


图5—2　PIP（概率的信息处理）系统方框图

点的概念。任何一个信息系统都是以信息源或传感装置为出发点的。它们产生各种显示影像。这些显示的影像由专职人员进行处理，把不相干的东西滤出去，留下来的则进入标准的格式，从而产生了提纯过了的显示影像。由系统中的关键人物监视这些提纯过了的显示影像，他们的任务就是估量对这个系统有利害关系的每一个数据和每一对假设的似然比，这些估计量被传送到贝叶斯信息处理机上。如果不匆忙的话，台式计算器可以很好地作为贝叶斯信息处理机做好这项工作。如果急于得到结果，最好使用电子计算机。但在任何情况下，贝叶斯信息

处理机只是单纯地用来计算贝叶斯定理。结果它按照全部证据产生了所有假设的现行概率的显示，每当一个新的数据进入系统，它立即显示出最新的结果。

提醒你一下，信息处理的作用不过是决策的前奏，图5—2包括了决策人。假若你有一个支付矩阵，你就可以按照使得期望值达到最大的原则自动地作出你的决策。但是形成一个现实世界的支付矩阵是一项艰难任务，需要有它的复杂技术。

图5-2所表明的这类系统可以称为PIP，它代表概率的信息处理（PROBABILISTIC INFORMATION PROCESSING）系统。PIP是怎样工作的呢？假定我们想要找出一个相对逼真的情况。于是，我们回溯到1964年设计了一个1975年的世界，并用100页左右的历史把它同1964年的世界联系起来。1975年有它自己的军事技术，有它自己当时的政治形势，等等。1975年的世界的设计要使得六条假设成为合理的。其中第一条是苏联和中国大概会进攻北美。第二条是苏联大概会进攻欧洲国家联盟，这个联盟在北大西洋公约组织解体后于1969年形成的。第三条是苏联大概会进攻阿拉伯联合共和国。第四条是中国大概会进攻日本。第五条是会突

然爆发其他某种重大冲突。第六条是和平会继续占居优势。从三个方面来源的资料同这些假设是有关的。第一是反弹道导弹早期警报系统，它是一种能够检测出由北极地区或北极地区之外飞往北美或西欧的导道的大型雷达系统。第二是谍报系统。一个典型的情报资料看起来就象这样：

我们的谍报人员从可靠方面听到消息，中国刘总理和苏联的巴里宁总理以及他们的高级助手上周内在外蒙古某地举行了一次秘密会议。又报导，出席这次会议的还有苏联和中国的最高军事官员。没有任何证据表明过去三年中两国领导人之间举行过这种会议。无论是苏联报刊还是中国报刊都没有以任何方式提到过这次会议，而且官方报导说，巴里宁总理已离开莫斯科到乌拉尔山区在他的别墅“休假”。第三个信息源是理想的摄影侦察卫星系统。由这个系统得到的一种典型资料看来就象是这样的：

今天早晨8点，有八艘护航驱逐舰驶离摩尔曼斯克。它们向正东方向航行，中午之后不久与一艘核潜艇会合。从那时起，看来它们是在进行反潜艇的军事演习。

我们怎样才能断定一个诊断系统是否正在有效地工作呢？如果我们不了解其真实情况，而且，在

现实世界中，我们往往不可能知道真相。那么，你就必须把一个系统和另一个系统进行比较。所以，实际上我们得到了四个系统：PIP，POP，PEP，和PUP*，当然，试验对象用 PIP估计似然比。下面我们不打算描述试验对象在另外三个系统中的任务。只是想说一下，唯有在PIP中根据贝叶斯定理用电子计算机进行证据聚合的结果最好，而在另外三个信息处理系统中，都是试验对象在他们的头脑中把证据聚合起来。POP，PEP和PUP彼此的差别仅在于所采取的响应方式之性质有所不同而已。

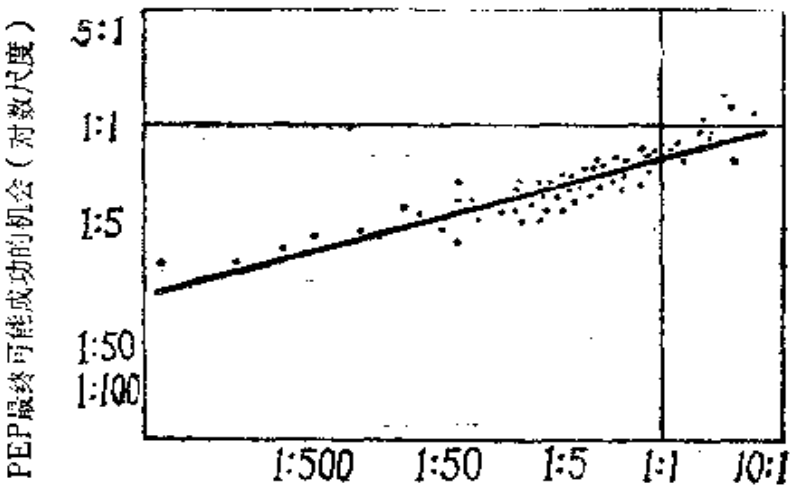
我们着手工作时共有75个试验对象，我们对他们讲授十个小时有关世界的特征、目前的形势、数据资料来源和这些假设。然后，我们给他们一个我所见过的令人最难忍受的、客观的2小时的考查，他们的人数减少到36个，后来又少了2个，所以在我们结束时，只剩下34人。我们把他们分成4组，教会各组如何操作自己的信息处理系统，然后，给

---

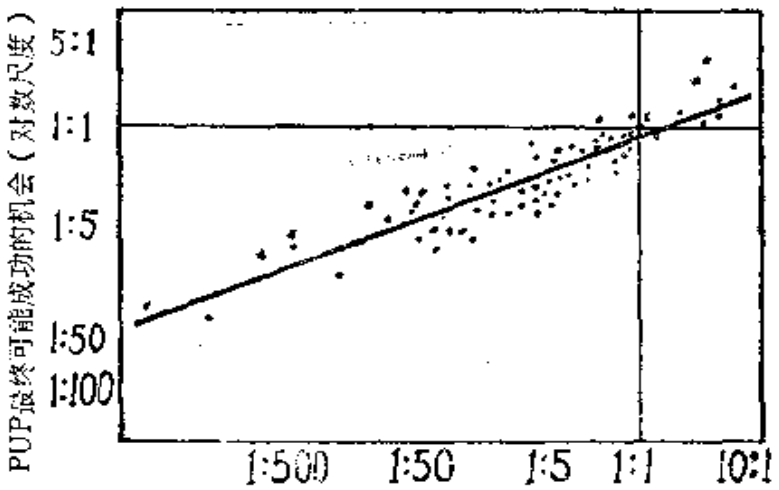
* PIP—Probabilistic Information Processing 概率信息处理（系统）
POP—Posterior Probability 后验概率
PEP—Personal Probability 个人概率
PUP—Puissant Probability 权威概率
均属心理学中的信息处理系统 ——译者

每一组提供总数为18种情节，每种情节都由60项数据资料组成。对每项数据资料，试验对象都根据个人知识与经验做出5种估计，最终我们把34个试验对象乘以18种情节，再乘以每个情节中的60项数据资料，再乘以每项数据资料的5个响应，于是得到183,600个二进制数。

图5—3表明由于各种情节中的第60项数据资料的原因，最后可能爆发战争。第一个图表（a）比



（b） PIP最终可能成功的机会（对数尺度）
r=0.856 斜率=0.273 当PEP最终可能成功的机会=1：5时，PIP最终可能成功的机会=1：35.3



（c） PIP最终可能成功的机会（对数尺度）
r=0.885 斜率=0.388 当PUP最终可能成功的机会=1：5时，PIP最终可能成功的机会=1：32.3

图5—3 在每种情节极限范围为，每一种战争可能爆发的几何平均率。（a）POP与PIP。（b）PEP与PIP。（c）PUP与PIP

张图看起来差不多是相同的。PIP 和任何其他一组之间的相关性是很高的——0.85或者是更高。这就是说，PIP和其它各组之间，就定性来说是 十分一致的。虽然定性上很一致，但定量上就不一致了。PIP利用已知的证据数量要比其它各组 利用的多得很多。或者换句话说，其它各组同PIP比较 起来是保守的。

图5—3 中两条轴上的间距都是用对数表示的。第一个图表（a）是由图5—3中的回归线计 算 得到的，它表明什么意思呢？假如，PIP会注意 到一种情节，使得它作出发生某种特殊战争的可能机会是99比1。那么，其它几组会给出可能的机 会 是多大呢？POP给出4比1。PEP给出 的小于2比1。PUP给出4.6比1。

信息处理的效果这样不同，倒是很引 人 注 目的。为什么差别会这样大呢？因为在PIP中 试验对象只是对彼此分开的各个证据在诊断上的含义下判断。并且用贝叶斯定理最恰当地把这些数据聚合起来。可是在其它各组中试验对象必须先在头脑中聚集这些数据资料，而且他们做得很保 守。分 而 治之。

因为有许多人对应用这些概念产生了兴趣，所

以事情并没有结束。首先出现的是戴夫·古斯塔夫森，他的博士论文是有关预测疝气手术后住院时间长短的问题。他把PIP与医生独自做出的直接估计进行比较，又与有可能设计出来的最好的、客观的贝叶斯程序和多重回归程序进行比较。结果证明PIP的确胜过其他方法。目前他在威斯康星大学从事一个大的研究项目，运用PIP诊断甲状腺疾病。

南加利福尼亚大学的麦克爱赫恩和纽曼曾用PIP去预测少年罪犯的累犯情形。

我的一位搞情报的朋友听说了所有这一切情况，深感兴趣，决定作一些追溯往事的研究。他运用PIP技术重新处理了古巴导弹危机中的各种数据资料，并得出结论说，假若当时已经使用上PIP的话，我们就会大大提早得到警报。他对这项发现感到振奋愉快。于是，又对北朝鲜仁川登陆后中国共产党干涉〔抗美援朝——译者〕而带来的数据资料进行了重新处理，甚至得到了更好的结果。

这些研究都是在结果已知的情况下来处理数据资料的，而且这种事后诸葛亮的聪明也是不可相信的。要做的事情并不是利用事后诸葛亮的聪明，而是研究目前的形势。这种研究工作仍在进行着。

另一个显著的应用是气象预报。气象员报告

表5—1　假设每次战争爆发的可能性与假设继续和平的可能性之比

PIP	POP	PEP	PUP
99:1	4.0:1	1.9:1	4.6:1
19:1	2.0:1	1.2:1	2.4:1
1:1	1:1.7	1:1.9	1:1.3
1:5	1:3.4	1:2.9	1:2.4
1:19	1:6.0	1:4.2	1.4.0
1:99	1:11.9	1:6.6	1:7.7

这些天出现的各种天气的概率。这些概率是由一个非常精巧的概率计算机模型产生出来的，并可以用或不用上次计算机的模型运行所积累的局部数据资料来加以修改。在任何情况下应用PIP技术不断改进这些概率看来都是很自然的。不过我们在这方面应用的第一次尝试却夭折了，但我们计划以后再作各种尝试。

贝叶斯方法，决策分析的一个分支，已经诞生并正在发展。它依据于数值上的主观判断并用客观聚合规则把各种判断归并在一起。因此，他例证了“分而治之”的策略。但这不是依据那种策略而兴起的唯一技术。下面我们要评论一下另一个与估值

有关的方法。

5-8 估　值

在许多各不相同的环境和情况中我们也许需要知道各种事物的价值。例如，运筹学家常常想要使某一个数字达到极大值。对于这件事商人也是同样喜欢的。运筹学家竭尽努力想要找到他们可以使之达到极大的目标度量，但为了使目标数字达到极大值而进行的探索却往往是不合理的。每个即使具有合理复杂性的现实领域情况都包含着许多各不相同的量，人们可能希望能使它们达到极大值（或极小值）。如果我们使一个量达到极大值，就不可能使其他的量达到极大值，因为它们是彼此互不相容的。我们可能喜欢开飞机，并且开了；我们可能也喜欢驾驶法拉雷号，而且会驾驶；但是我们不可能同时做这两件事，只能顾及一头。这就存在一种折衷方案。在价值范围内那种折衷方案恰恰是每个现实领域情况中固有的，实质上值得充分地加以考虑。想要用一个单独的客观标准来抓住任何真正复杂的决策形势的实质通常是徒劳的，往往也是愚蠢

的。

作者不能赞同研究估值问题的第二种方法，它处理现实领域的程序就好象它们本来是第一流实验室的试验似的。假定我们对企图改进穷苦儿童读书技能所作的智力启发计划的效果进行估计感到兴趣。并且一个在实验中的城市取得了这份智力启发计划，而另一个匹配的（？）对照城市则没有。那么在这两个城市中，我们可以适当地挑选儿童进行智能试验、知识测验、阅读试验，或任何其他我们能够设想的试验。然后，我们作T一试验* 。如果正方向上有相当大的差别则学前智力启发是大的；而如果没有多大差异，则智力启发就失败了。

有各种理由可以说明这样一种估值程序是荒谬的。最明显的一个理由是，根本就找不到这样一个和实验城市相似的对照城市；如果确有那样一个城市而居然得不到智力启发计划，则至少可以说那个城市里的政治家们毕竟是些无能之辈。

---

* T一试验是一种统计试验，它包括具有未知标准偏差的正态总体均值，并依赖于一个变量的小样本，T等于样本均值和总体均值之差除以由样本的标准偏差除样本数的平方根所得的商。

——译者

5-9 效　用

较大的社会事件，不管是实验程序的结果，还是太空实验或是水污染指标，我们怎样才能估价它们呢？我们首先应该承认价值本来就是主观的。早在十七世纪就用效用这个名词来指主观的价值。所以这个问题在于效用的实际度量。经济学家们告诉我们下面这些同效用有关的情况：第一，应该使效用达到极大值，更明确地讲，决策人应该使他自己的效用达到极大值。各种效用是无法在人与人之间进行比较的。至少在不确定条件下进行决策的过程中，效用都是靠线性变换或以时间间隔为尺度来衡量的，它们没有真正的零点。而且效用与正在考虑的行动无关。那些全是效用的标准性质。我们关于效用必须说出的意见，实质上是否认所有这些性质。当我们考虑效用时，当然应该使它达到极大值，可是并不存在像一个决策人这样的事情。我们所讲的效用都是社会效用，并不是个人的效用，因此，如果人与人之间不能进行比较，那么，至少在人与人之间的关系上形成效用。效用都是用比例尺

度来衡量的，因此，确有一种勉强称得上真正的零点（不是很好的一种），而且它们在很大程度上依赖于正在考虑的行动。

我们怎样才能度量效用呢？首先，我们必须回答两个问题。效用为着什么目的？还有，谁的效用？

提出效用为了什么目的的问题，就是指出这样一个事实：我们对什么效用感到兴趣，取决于我们需要作出什么样的决策。例如，选择在载人宇宙飞行中要包括的实验是作者研究这些思想的一种情况。结果表明在那种情况下，每个实验都必须有三种不同的效用。这些效用与科学仪器的选择有关，与各个实验的安排有关，以及当出现差错时，则与各个实验的重新安排有关。例如，在选择携带的各种科学仪器时，仪器的重量显然是个很重要的问题。可是，一旦已经作出了选择的决定，则同实验的时间安排或重新安排就完全无关了。所以在我们开始讨论什么效用有重大意义之前，我们应该先规定要作出什么样的决策。

其次一个问题是：谁的效用？很容易想到的，是决策人的效用。但凡是真正重大的社会问题绝不会有一个决策人。或者换句话说，决策人太多。原则上说，这个决策人是他所在公司或政府部门的一

个非常高级的官员。这样他为了对于他不得不做的决策瞭如指掌，保证会忙得疲于奔命。因此他依赖他的参谋部。这些人必须替他搜集对决策有用的各种可供选择的方案和同每个方案的价值有关的情报。他的参谋部要象他那样考虑问题。他们并不是发挥自己的效用，而是对他的效用作出他们最好的推测。甚至他也不发挥自己的效用。他在这场竞争活动中并不是为他自己，而是为他所服务的这个团体。简而言之，可以说是使组织效用达到极大。

假定我们知道了我们正在考虑的是什么决策，谁的效用或什么组织的效用应该达到极大值。下一步，我们就必须识别我们要进行估值的各个实体。凡是现实领域的决策都是在不确定的情况下制订的一种决策，所以，原则上说，这些实体理应是这样的一些结果，它们既取决于行动，也依赖于该领域中什么样的状况原来是真的。但在实践中我们常常忽略了这一点，只是简单地估计程序或行动，而没有注意到事实上它们确实是在不确定的情况下的决策。对此做法，我们不能辩护，但也不要抨击，看来这似乎是不可避免的。

其次，我们来识别一下价值的大小量度。各种价值实际上排列成一种象分层系统的树形结构。朝

上，树的顶端是“估计会超过平均寿命的人”或是类似的东西。而向下，接近树的根部则是这个事实：我们就餐时宁愿要牛排而不要龙虾，因为我们如果吃了龙虾就可能睡不好觉。在确定价值的量度时，究竟我们沿着那个树状结构要走多远只是部分地随意武断的。总的原则是：不要过分详细地、具体地研究一组价值的量度。否则，我们就会有太多的价值量度，那末，它们之中就没有一个是很重要的了。

然后，关于每一个量度，要判断那个量度对于集合的重要性，并维持这些重要性判断的比例特性。人们能够作出这种判断的。事实上，人们喜欢这种判断。其次，在保持重要性判断的比例特性的条件下把它们归一化(正规化)，并使它们加在一起为定数（为了方便起见，我们可以选它为100）。然后，度量每个实体在每一量度上的位置。度量了每个实体在各个量度上的位置之后，我们或许需要重新标度这些位置，因为这些量度中有许多是客观的；而我们得到的数字则依赖于度量所用的单位。例如，一个空间实验仪器的重量，由于我们是用磅为单位来度量还是用克为单位来度量，我们会得到不同的数据。再者，我们不希望把这种差别引入

估价过程中。所以我们必须重新标度。对此是有专门技术的。在进行重新标度以后，我们可以用简单的算术方法把表示实体在该量度上位置的数字乘以该量度的重要性，然后把这些乘积加在一起就得到集合的效用。〔这种效用度量方法的更详细说明请参看爱德华兹的著作*。与这课题有关的不同方法可参看拉法的著作**〕。

5-10 有关估值的一个例子

几个星期之前，我们和一群在一个大城市的几个警察局负责规划的警官试验过这样的程序。作为一个例子，他们挑选一种配备人员的决策来作分析研究：提出在四个警察分局中分配人力的几种方案。碰巧在场有一位警官是在当地警察局长的规划

*W. Edwards "Social Utilities"(社会效用)Proceedings of a Symposium "Decision and Risk Analysis—Powerful New Tods for Management"（决策和风险分析——经营管理的有力新工具）U.S. Naval Academy, Annapolis, in prees.

**H. Raiffa, "Preferences for Multi—Attributed Alternatives"（对于多种属性比较方案的选择）, The RAND Corporation, RM-5868-DOT/RC, April 1969.

班子里供职，另一位官员是在当地行政司法长官的规划班子里供职。警察局长和行政司法长官是颇不相同的人物，可以感觉到他们会对这些配备人员的计划作出不同的估价。这样，我们就邀请每个规划班子成员都扮演他的上司的角色。然后我们对每个人员配备计划的效用衡量两次，一次是替警察局长衡量，另一次是替行政司法长官衡量。在归一化之前，行政司法长官的各种重要性全都判明是比警察局长的重要性高得多。当然，在归一化以后，这种差别一点也无关紧要了；它仅仅是风格上的不同。而正是这一点就使得出席的警官们预料警察局长和行政司法长官对所考虑的行动会有很不相同的估价。归一化之后，其结果变成仅仅在已经被认为同一的量度上作了一个重要性的转换。行政司法长官所考虑的是讨好这个共同体——另一种说法称为公共关系，这比警察局长所考虑的稍微重要些。然而也仅仅是稍微一点而已。到我们通盘研究完整个程序并对我们正在考虑的这四个人员配备计划作出了评估的时候，原来警察局长和行政司法长官已经采用这一程序完全同样地评定了这四个计划，而根据他们助手们的直觉判断来引入他们的期望，则会对这四个计划作出不同的评定。这样，在我们料想人

与人之间出现意见分歧的地方，我们却得到人们之间的意见一致。

这些程序当然会引起人们之间的意见分歧。在此情况下，这些程序所提供出的东西实质上是一套辩论规则。这些规则帮助我们指出在哪里出现分歧和为什么发生分歧。并使我们有可能用数值来表示这个分歧的大小。根据敏感性分析，我们能够发现这种意见分歧该有多大的重要性。在任何情况下我们所做的不过是用鉴别各个彼此不相干的价值量度来把价值问题拆开，按各个价值量度分别作出判断，并对每个价值量度的重要性分别作出判断，然后借助简单的加权平均值的概念把它们重新聚集起来。这又是“分而治之”。

5-11 结 论

至今我们还没有应用估值方法获得成功的例子，虽然运筹学家们都很熟悉类似的概念。但我们认为估值方法还包含了另一种方法的萌芽。而且这种方法同概率信息处理（PIP）方法没有什么很大的差别。

如上所述，“分而治之”是指把任务按照它的自然解理纹路分成若干部份。分别对每个部份作出判断，然后再运用计算规则把这些判断调整在一起以得到所希望的解答。

5-12 问答部分

问 在我看来你似乎已经充分证明了由PIP计算的概率完全彻底地反对直觉，这对医治管理人员的积弊似乎是一剂良方。但你有什么办法能使管理人员接受它们呢？

答 最好的方法是等他们来问你。如果他来问你，那要比你必须向他们推销容易得多。有各种各样的方法你可以试用，它们造成这种情况。其中之一是许多人都能看到在信息处理中人类保守主义的现象，至少是在别人身上能看到这一点。我猜想你们之中的多数人发现那个保守主义的思想直觉上似乎可信，并且能够环顾其他的人而看到，在许多实例中，他们无法利用全部有效的证据。这就可以想到形式处理或许会有所帮助，在这点上你可以用的另一种方法，

就是简单地论证贝叶斯定理毕竟是一种没有矛盾的规则。这种规则详细地说明了不同种类的判断之间形式上的相互关系。因此，如果你要求他做适当的数值判断，那么你可以提出将出现的种种不一致。于是，如果他愿意相信一致性是合乎要求的，那就会开始引起他烦恼。至少他的判断中有一些是错误的；或许他的全部判断都是错误的。当然，在最后分析中，要证明是布丁，那就得尝它一尝。所以，你可以请他试试这种方法，而不是让他的全部运算过程都依赖于它。他由此积累起经验。

实际上，甚至在你能开始推销PIP之前，你就已经做了初步推销工作了，那就是已在推销不确定性可以用数量表示的思想。的确，许多人都认为（虽然我没有这样想）推销聚合规则是比聚合规则本身更为重要的事情。我不知道这是否正确——二者诚然都必须为人们所接受。

问　你是否做过什么努力试图把使用PIP作出的决策同一个已经被人武断地称为成功的高级经理的个人所做的决策相互关联起来。

答　不会的。我曾对身为数理统计学家的听众讲过

保守主义，并且与他们一起用了曾与你们一起用过的相同的例子，抽取8次红牌和4次兰牌，而我总是得到相同的结果。那倒不完全是针对你的观点说的。要处理PIP与商店总经理的比较问题是颇为困难的。但我们的情报分析家是非常成功的，他们也许比许多商店总经理面临着的不确定性更多。我现在讲的这个一般情况看来是非常清楚的。

问 当你谈到“分而治之”，在努力找出分组解决与PIP的成就之间的关系方面，你有什么经验吗？换句话说，你能“过细分解”某些事情，而且突然地使PIP变得毫无意义。

答 完全对，潜藏在你说的背后的真正问题是独立性问题。你实际上要做的事是以这样的方式把事情分解成片断，以致它们受到称为“条件独立性”的条件检验。我不想详细讨论这个问题的各种形式术语；但是一般说来，在你打交道的大多数信息处理的情形中，提供给你的有关数据资料无论如何都是未经加工的。这些东西代表了你要考虑的最细小的部分。你常常更愿意用比较粗糙的分块，而不是为了得到在条件上独立的那些聚类。其结果恰好使人们能够很

好地断定为了得到条件上独立的聚类，应该把哪些条证据放在一起处理。我本人、俄亥俄州的曼利、大卫·古斯塔夫森都研究过那个问题，并且这一切都表明这种事人们做得相当好。实质上那是判断问题，不过人们是善于作出那种判断的。

问　你能澄清PIP、PUP、PEP和POP之间进行比较所得的结论吗？在我看来，似乎在你能够说出PIP工作得更好之前，你必须先给这些结论加上心理学上的保守主义。难道PIP更接近于先验概率吗？

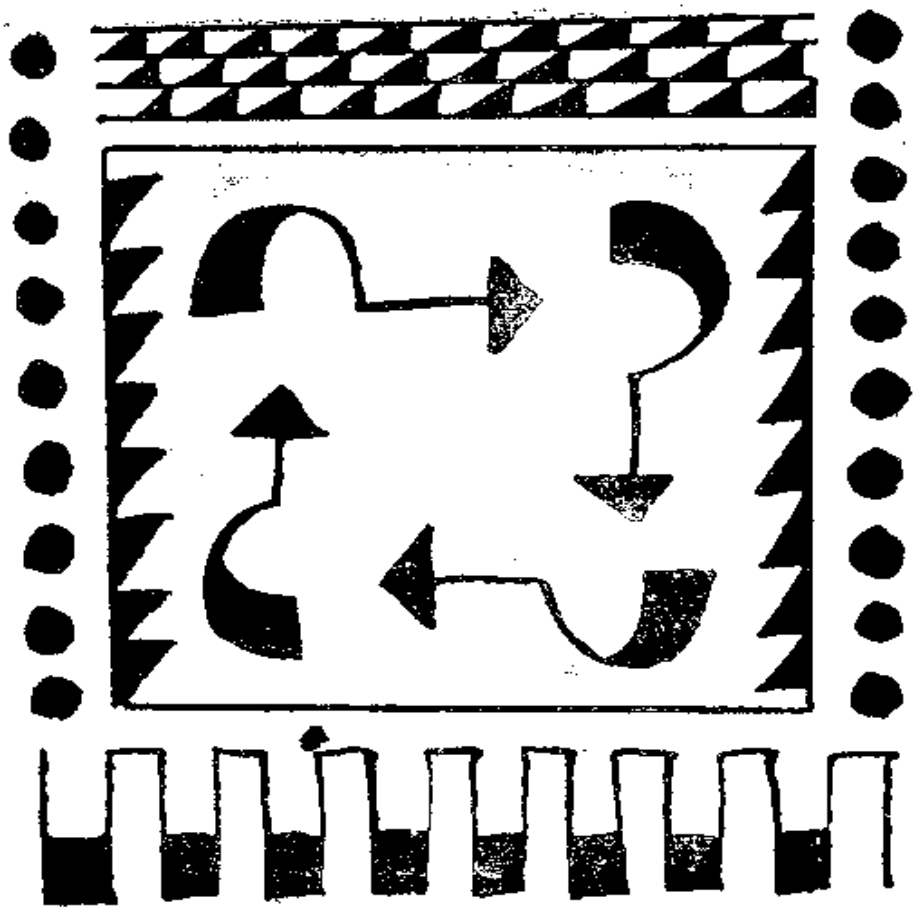
答　你别指望接近先验概率。愈是证明证据属实，你就离开先验概率愈远。先验概率是随证据出现而加以修正的东西。我想你说的意思是，什么是正确的答案——什么假设才是真的——过去并没有定义。这是对的。在数据资料形成过程足够简单以致你能用数学方法来描述它，同时这一过程又是有几分逼真的情形下，许多实验已经考查过PIP程序。过去有这样一个关于男人和女人身高的实验。这些身高可以相当好地被描述为具有相同的方差但不同平均值的两个正态分布。你会说，我们或者挑选出男人或者

挑选出女人，而且，我们将对个人连续抽样，并把他们确切的身高告诉你。问题是我们已经抽取的样品是男子而不是女子的可能性是多少？你作这种实验而且利用PIP程序，你会发现它们得出的结果是很好的。正是在这里男女数目的差异应该是如此。而使用任何一种直接估计的程序——后验数量的估计——它们的结果都是很保守的。如果你做了足够多的那种一般特征的实验，从中你就一定会得到那类数据产生过程的模型，并因而能算出正确的答案，那么你定会感到即使在没有一个那类数据产生过程的模型，从而不能算出正确答案的情况下，你也会得到在其他这些场合中你已经发现的同类事件。就我所知，从所有其他场合中你只能得到这样的结论，即PIP在那里多少总是相当精确的，而在任何其他必须用人的头脑进行聚集的地方则是十分保守的。

问 你希望至今还没有得到应用的这些方法能在社会上的哪些地方得到应用？你觉得在应用这一方法的过程中，最大的收益是在哪方面？

答 我认为在一定意义上说，我自己的活动就提供了这个问题的最好答案。我当然想在信息处理

那样一类中应用这种方法，它在我能设法达到的最好水平上为制定管理政策打下基础。这是回答你所提出来的问题的一种方式。另一种方式是，如果你到处找见那类进行保守的信息处理的活动，总计起来对我们日常生活有极大影响，很显然它将成为商业。所以这样一种方法使用于整个商业；我看不出为什么不应在那里应用，我正尽力而为促进它的应用。



第六章

运筹学的分析方法

P·莫尔斯*

* **菲利浦 M·莫尔斯（PHILIP M·MORSE）** 马萨诸塞理工学院物理系物理学名誉教授。

我们往往听到这样的批评：“我们能够把人送到月球上去，但是我们却不能管好一座城市”或者“我们能够制造高效率的电视接收机，但是我们不能经营好一条铁路”。这些引人注意的警句蕴含着一个问题：“如果我们在设计各种设备的过程中，运用自然科学的各种方法已经取得了如此巨大的成功，那末又为什么我们不能利用这些方法来处理我们社会的某些问题呢？”本章的主题，实质上就是要讨论这个问题。

6-1 物理科学*的方法

首先，叙述一下物理科学的方法。简单地说，

它就是观察现象，然后不是盲目地积累数据资料，而是形成理论。这是一种说明这种现象本质的定量模型。这一理论还必须经受由该理论提出的一系列受控试验的检验，这些试验，或者会否定这个理论，或者会证实它，而且，还能为这个模型中所采用的参数求值。最后，如果这个理论得到证实，那么，我们就可以用它来作预测。这就是这种方法在实践上的优点，因为如果我们能够预言这个现象在各种不同的条件下将如何表现，那么我们就可以设计出按照我们要求的那样来运转的设备。

物理科学发展的另一方面是它从小处着手。我们是从自然面貌的一个小部分开始，在开始理解更广大的方面之前，先要弄懂那个小部分。不懂得完成登月火箭系统运行所必须的动力学、电子学、火箭自燃学这些原理，人们不会开始进行登月火箭的设计。

现在已经可以看到我们在开头提出的那些问题的某些答案了。只有当所研究的现象有足够的连续性和规律性，以致实验能找到定量的结果，而且这

---

* 物理科学（Physical Science）在这里又指自然科学，包括物理学，化学，天文，地理。——译者

些结果能够象所期望的那样重复出现时，物理科学的方法才算是成功的。我们并不需要完美无缺的重复性；如果有规律性的话，概率方法可以把隐藏在随机波动后面的规律性找出来。这些现象不能是只发生过一次的事件或者是环境不能得到重现的情形，这样，许多更加广泛的社会问题和政治问题自然要排除在外。

但是也有些社会的或者半社会的活动是可以重复出现的。其中有许多活动或多或少会受到物理境界或设备缺陷的约束，而且有许多活动是针对着可以定量测量的目标的。我们来考虑一下工厂中的生产流水线，空中交通运输、甚至任何一种运输，战争的各种军事行动，如空袭等。这些针对特殊目标的一班人马和设备的重复行动，现在称为工作（或活动，业务）。它们充斥于我们社会之中：消防、垃圾处理、医院手术、市场交易等；我们每天都碰到这些活动或参加这些活动；我们可以用物理科学的方法来研究这些活动；可以观测它们，可以制定关于它们的定量理论，可以对它们作出预测，并且在某种程度上，我们可以作出设计，使它们最有效地产生所需要的结果。

6-2 数学模型

当然，这些现象中的可变程度通常比简单的物理现象要大得多。而这一点恰好说明概率论在它们的活动的数学模型中比在大多数物理理论中起着更大的作用，这一点还意味着恰当的预测必须包括结果的整个变易范围，而不仅是结果的平均值。

物理科学方法的这种新的应用——现在称为运筹学——过去我们不得不从小规模开始。在我们能够开始预言一个复杂运转过程的全部行为之前，我们必须理解它的各个细节。让我们先从几个比较简单的例子入手，然后考查怎样把它们结合在一起。正像在物理科学方面那样，我们知道，为一个简单过程而设计的数学模型，能够应用到许多其他情形中。

6-3 排队模型

例如，有一种等候服务的排队活动（参看图

6—1）。要求服务的单位——人、飞机、无线电设备，在空间上某一地点或在时间上某一时刻到达他们需要服务的场所：在超级市场结账计算器旁等算账的人，在机场等待起飞的飞机，烧坏了管子要修理的无线电设备。到达的人和物都是不规则的，但是每小时、每天或每年却具有一定的平均到达速率λ。他们得到的服务也有一个平均速率μ，虽然在服务时间上通常也有相当大的可变性。

我们观测到的第一件事是一个仅仅运用平均值的模型产生的结果是无用的。如果到达速率λ比服务速率μ小，这样一个模型不会发生问题，人流或物流不会受到阻碍，服务设施只有部分时间在工作，其值等于λ/μ。不过我们知道在多数这类作业中，尽管平均服务速率能够超过平均到达速率，等候服务的人、物还会排长队。排队的原因当然在于到达的人或物和服务时间的可变性。有时接踵而来的人或物超过了平均数，有时服务花费的时间比平常工作时间长。在你之前站在结账计算器旁的人也许买了20美元的食品杂物，而你也许只有25美分的一个账目，但是你却要排队等候。这就是一个例子，数学模型在能预计可能出现的各种延迟情况之前，必须包含作业中某种程度的可变性。

例如，倘若到达的人或物纯粹是随机的（所谓泊松到达），如果服务占用的时间也同样是随机分布，那么，这个队列的平均长度为 $\lambda^2/\mu(\mu-\lambda)$，排队中平均延迟为$\lambda/\mu(\mu-\lambda)$。另一方面，如果到达的人或物是随机的，但每次服务都准确地占用同样多的时间$1/\mu$，则队列规模（以及排队等候时间）减少一半。如果到达的单位（人、物）成串地来到，每“串”的平均规模是M个单位，则平均队列规模是$M\lambda^2/\mu(\mu-\lambda)$等等。这一理论也预报队列规模的变化和延迟时间的变化。

图6—1　排队模型。随机到达的人或物和随机服务时间的平均队列长度为$\lambda^2/\mu(\mu-\lambda)$。排队平均延迟为$\lambda/\mu(\mu-\lambda)$。

在这些公式中，每个式子的分母里都有$(\mu-\lambda)$因子。比值(λ/μ)等于服务设施被占用平均时间分额，称为服务设施利用因子。当服务设施利用因子逼近1的时候，所有这些公式将无限增大。诚然，如到达速率λ比服务速率μ大，则队列将无限增大，那就总也达不到稳态。但即使(λ/μ)小于1，这些

延迟也可能变得太大。

当（λ/μ）接近1时，队列规模对（λ/μ)的灵敏度是操作管理人员觉得很难考虑的一个因素。当发现服务设施只有四分之三的时间在工作时，他们首先想到的是要减少空闲时间，而不了解当(λ/μ)由3/4增加到7/8的时候，队列规模和等候时间差不多要增加到原来的3倍。第二次世界大战初期，曾断定纽约港船舶货物的吞吐量约为它的最大容量的四分之三。为了提高效率并减少德国潜水艇在美国沿海给美国造成的损失，曾经决定所有货船都在纽约港装卸，而以往它们是开往费城和巴尔的摩的。这个新的决定使利用因子（λ/μ）由3/4变至约9/10，而（根据这个公式）在港口的延迟时间将增加到原来的3倍至4倍。海运委员会的委员们按照平均速率来考虑，起先认为在利用方面仅仅作15％这样小的变动却会造成超过200％的延迟变化是很难令人置信的，因而断定是由于破坏行动造成的。但后来他们终于确信产生那种变化本是意料之中的事，因而取消了他们先前的命令，让船舶驶往更南方的港口。几个月之内，纽约港的拖延已恢复了“正常”，当然沿海船只被击沉的数量又一次增加了。

这个例子说明了在应用运筹学中的几个固有的

问题。一个是“次优化”问题。在一个排队系统中，如果你减少空间时间——即减少1—(λ/μ)——那么你就自动地在增加队列规模，并增加排队等待造成的延迟。如果服务设施的管理人员不在乎这些延迟的话，那么他可以作这样的变动。但是，如果这个设施是更大系统中的一部分，那么这种延迟可能会降低这个系统中其它一些部分的效率。例如，如果这个服务设施是生产线的组成部分，它也就可能降低整个流水线的生产能力。或者，假如这个服务设施是飞机场，机场上空分层盘旋等候着陆的飞机“队列”，就可能大到会发生危险事故。因此在一个复杂的系统中，为了使整个系统的运行更有效，也许要使该系统的某一部分在较低的效率上运行。为了使整个系统的运行更加有效，服务设施的管理人员也许要让他的班组有1/4的闲散时间。

另一个问题是决定度量系统效能的标准问题。如果以这一服务设施的效用作为标准，则排队中的延迟次数必将增加。但是如果以最优化的生产能力为标准，则这个服务设施就要以降低的效率来运转。适当度量效能这个问题在这些学科的一切应用中都是个基本问题。在多数情形下，决策应该由负责总管业务的领导人来制订，而不是由下级管理

人员或由运筹分析家作出，而且决策往往应该建立在非定量的基础上。一次战略轰炸的军事行动是否成功究竟应当由投弹总数及所产生的破坏效果来衡量，还是应当由轰炸所造成的政治上的、心理上的影响来衡量呢？这些问题必须由最高层的领导人员去决定，并且这些决策对计划和执行军事行动的方式方法产生强有力的影响。

这样的问题使得运筹分析家小组必须有权直接接近最高级管理阶层，从而使这些管理人员能够逐渐理解分析家们预测的全部含意，而分析家才能做到了解管理人员的基本目标，这样可以尽量避免次优化。

致力于运筹学应用的分析家，他的一项重要任务就是教育工作。他必须使管理人员对他的分析含意有真正的了解。同时他也必须认识到，由于政治上的或其他不能用数量来表示的种种原因，有时他的推荐会被驳回。在一些具有广泛战略目标的问题中，运筹学起着重要的、然而只是辅助的作用。实际上，运筹分析家们在选择那些应当最优化的效用的适当标准方面完全有理由产生意见分歧。一旦这个选择的定量含义弄清楚了，最后决策则是最高管理部门的责任。

6-4 马尔可夫模型

排队论现在已经成为应用数学中一个迅速发展的分支。它的应用遍及通讯、维修、各种运输以及库存控制等各个领域（这里“发货”是指把某一项产品从库存中取走，而“服务周期”是指由工厂来的另一项产品替换库存中被取走的这一项存货之前的一段时间）。每一种情况，当人们确定了到达和服务过程的统计表时，这些公式就能预言特征行为及其可变程度，这样就可以在整体系统的各种政策要求之间建立起一种平衡。

排队论和马尔可夫过程理论关系很密切，同属于一种概率动力学。这里的“驱动力”都是转移概率，若系统的初始状态为m，则单位时间后状态为n的机会是Mmn。这和古典动力学很类似。若马尔可夫过程的矩阵与时间无关，则系统可能继续在各状态之间振荡，或稳定下来成为一种定态行为。当然，“定态”正是用状态之间的概率分布表示的；这个系统将根据马尔可夫过程由一个状态跃迁到另一个状态。不过当马尔可夫过程的“力”突然发生

变化时，我们可以讨论系统的“瞬时性态”。许多排队过程都可以用马尔可夫理论进行分析。

马尔可夫模型还可用到另一个领域，用它表示图书馆中图书的流通量。一般说来，一本书受欢迎的程度随着时间而减小；一种类型的书逐年平均流通量或多或少随着时间流逝而以指数方式降低到某个极小值。但是，平均值并没有充分告诉我们单独一本书的流通史。它的流通量可能会突然增加，因为与这本书有关的课题已经受到更多人的欢迎，或者，在大学图书馆中，由于学校开设了一门新课要用它。在此以后，流通量又会再次降低。如果我们想预测某一类图书流通量的分布，那么，我们就应该考虑到这些例外情况，并用马尔可夫模型来实现这个目的。例如，倘若藏书空间要求把一批流通率低的图书存放到不太容易提取的地方，那么这个模型可以估计出想借其中某一本书时感到很不方便的读者的人数。许多其它具有更重大的社会意义的系统都可以用马尔可夫模型来表示。

6-5 其它模型

在大多数经营管理的情况中，都存在着大量的

参数，其中有些参数必须加以测定，而有些又必须依据政策考虑予以确定。这就产生了组合数学这个庞大的领域。例如，一家石油公司为了生产不同数量的各种产品，诸如汽油、燃料油和润滑油，可以购买不同种类的原油，也可以调整他们的炼油厂。销售部门对他们明年能够出售这些产品的数量要作出估计。然后该公司要决定应该购买原油的数量和各个炼油厂应作的调整，以便能用最低的成本生产所需要的各种产品。

这是约束极小值的问题——根据具体情况，也可以是约束极大值的问题。目标函数是各个可调整变量的组合。就这家石油公司的情形来说，这就是要使购买原油和原油加工处理的费用的总和达到极小值，这受到诸如估计的需求量和各炼油厂的生产能力等等约束条件的限制。这种方法称为数学规划。如果目标函数是这些变量的线性组合，则称为线性规划。这种方法可以应用于许多分配问题——资金的分配，资源的分配，或人力的分配。这种过程往往包含许多变量，通常只有利用大型电子计算机才能得到具体的答案。用这个理论参与编制电子计算机程序就可以得到试验改错次数最少的解。一旦还涉及到时间，就象在航线上的全体人员安排和飞机

的航班安排这样的复杂问题，这种分析就要更加复杂。这种问题甚至对最大的电子计算机来说也是沉重的负担。这个方法在公共系统中的某些应用是用于警察巡逻队的配置，消防队队员的排班，医院手术室的时间安排等。

当约束条件没有严格规定的时候，问题就变得更加复杂了。在许多诸如此类的情况中最好是利用马尔可夫理论，运用所谓动态规划的方法求解。到目前为止，有一些有关问题还没有找到确保通过有限次数的尝试求得答案的方法。“巡回推销员问题”就是一个典型的例子。这是如何设计一条经过全国20个到50个城市的旅行路线并使得旅费最少的问题。特殊的情况已经得到解决，但是保证求解的一般方法还没有研究出来。

6-6 模 拟

表示——同时也是预言——工作系统中各种元素的分析方法，有一些已经研究出来了。当人们把各个元素组合起来以便预报整个系统的性能时，对于各组假定的约束条件值的计算，以及对于人们可

能想要选定的种种行动策略的各个比较方案的计算，都是很复杂的，只有用电子计算机完成这些计算。因此，如果能很好地理解这个系统中各种不同元素的性能的话，那么我们就可以在电子计算机上模拟系统的性能，并能完成由于成本、时间、或道义上的原因，在真实系统中不能实现的各种替代实验。现今复杂操作系统的计算机模拟是一笔大生意。如果全部子系统以及它们之间的相互关系已经很好地得到了解，而又精心地完成了系统模拟，那对于行政管理人员可能会有着巨大的价值。当然，如果我们对一些组成部分的性能不了解，或者我们对某些新设备的性能采用了过分乐观的预测，相应地也就存在着巨大的危险。计算机专家给它起了一个名字叫做GIGO——送进废料，出来的是废物。

6-7 美国陆军库存

有几个例子可以表明怎样能够利用模拟。美国陆军备件的库存是一个非常庞大而又复杂的系统，来自工厂的成千上万个不同项目的产品送到主要仓库、送到战区仓库，最后送到军需官处，再根据需要，

由他来分派这些物资。这些物资的总值达数十亿美元。这个网络上的每个节点依照一组规章管理，这些规章详细说明了一项物资到什么样的库存水平就应该向上级仓库或同级仓库订货。这个系统的管理人员怀疑库存总量太大，就请求马萨诸塞理工学院运筹学中心调查研究一下这个问题。当然适当水平的选择是由成本费用和需要一项物品时军需官缺货的概率之间的平衡来决定的。由于需求的可变性，绝不会有这样一个足够大的库存，军需官永远不会发现一项元件是不足的。至于什么意外事件方可中断供货的决定则是一个必须由最高管理部门查明分配的预算之后来决定的政策问题。一旦对于每项物资都做了这样的决定，排队方程组也就能够确定了；而且，如果知道来自下级的各种需求的时间分布，那么就可以制定出各个节点上合适的一套订货规章和平均库存水平。假定在各个节点上的需求按照所谓泊松分布随机地发生，那末，业务管理就行之有效了。

马萨诸塞理工学院的伽利赫和两名学生组成的小组，第一次研究了美国陆军已在运用的这个系统的统计资料，并且发现了某些特征表明最基层组织没有很好地遵循这些规章。显然，从来没有人对军需

官讲述过泊松分布。例如，就拿汽化器这个项目来说吧，大概平均每周需要六件，很有可能有一周只需要三件，而另一周却需要九件。当一周出现需要九件的时候，这个有代表性的军需官可能忘记了有一周只需要三件的时候，于是他就象平均需要量已经增加了50%那样提出定货。

拿泊松分布这种错综复杂的东西来教育所有军需官看起来似乎是不切实际的，因此必须制订一组订货规则，能够理解这些超常波动的含义而不是详述这些波动。为了作到这一点，为了观察整个系统对波动如何反映，曾经编制了一个计算机模拟程序，它包括了约20类典型产品项目——既有流动慢的也有流动快的——在网络所有各级层次上的典型需求波动和在装运中耽误的全部次数。需求统计特性和各项订货规章业经详细规定之后，计算机就可制作一个具有各级库存的偶然缺货及其波动的标准年度作业进程表。如果把那时所用的规则和军需官的个性输入这台计算机中，则得到一个与实际记录非常相似的记录，其平均库存和缺货率与实际经验相当吻合。

因此，这个模型经核实无误后，我们也就有可能利用它来试验变更规章的效果。由于用了电子计

算机，15分钟就能得到相当于一年的经验，它节省了许多时间（和金钱），远远胜过用这个系统本身来做试验。结果提出了一些新规章，模拟表明运用这些新规章可能稍稍降低平均库存量和缺货率。美国陆军采纳了这个意见，使用的第一年就减少了缺货次数，且稍微降低了平均库存量。可是，在五十亿美元的库存中，即使减少百分之一，就是好几百万美元。这个系统经过美国陆军里的分析家们补充增加了一些改进措施，现在已经使用了10年左右。

6-8 全血库存

最近进行的另一项研究——医院里全血库存问题的研究，可能更有意义。全血的保存不能超过28天，超过这个时间就得把全血加工处理，分离成它的各种成份：血浆、血小板，等等。血的这些成份也是很有价值的，但不像全血那样价值高。这里，可能出现缺少某种类型的血液（缺血概率），也可能出现因搁置时间过久而失效的血液（过期概率），而这时其他医院正缺少这种血液，所以必须对这两种机遇进行平衡调节。

波士顿地区多数大医院所用的血液，大约有一半是他们自己收集、自己储存的。他们的倾向自然是储藏供他们自己用的血液，仅当血液的存放时间已达20～25天，他们才表示出愿意在各医院之间彼此合作的姿态，让出那些可能供应过多的血液。因为这个系统越小，相对的波动越大，这样的安排常常出现供过于求或供不应求的现象。往往一座医院缺少某种类型的血，而其他医院里这时却不得不让他们存放的这种血液过期。显然，一个更加统一的组织，既可以减少过期又可能减少短缺。关键问题在于：要花费多大的代价，需要什么样的管理规则，对过期和短缺现象可能期望减少到什么程度？

美国马萨诸塞州红十字血液中心是有能力建立这种合作系统的组织。它已经供应着各医院所用全血量的将近一半，而且用它的流动取血车，可以解决必需的运输以及一个统一的系统所需要的中心血库存储量。他们请求马萨诸塞理工学院运筹学中心去研究这个问题。一个名叫约翰·詹宁斯的研究生决定把这个问题作为他的博士论文研究课题。

第一件事，照例是收集平均用量的数据资料、各种波动的统计数据、目前各种管理规则以及各方面工作人员的意见。在这些数据资料和排队论知识

的基础上，他开始编制一个中心血库加上与之合作的医院——各家医院均拥有它自己的血液库存量——的系统模拟程序。他的程序必须包含各医院对下周估计需要用血量的上下波动，医院之间或自中心血库到医院运输血液的种种耽搁的时间和费用，以及对于试验各种管理规则的适应性。曾经试验过几组不同的规则：每日或每周对所有储存的血液重新进行调节，或者以只要向中心血库或其他存有过量陈血的医院提出申请就补充运载血液的方式，使不同时效的库存血液维持在预先规定的略高于最小量的水平之上的一个系统。

这个模拟马上表明，每日重新进行调整要花太多的运输费用，而每周重新调节不能有效地减少过期和短缺的次数。按需要进行补给的更为灵活的系统根据一组库存规则，不要花太多的运输费用，就有希望降低损耗。个别医院库存规则定了短缺概率与过期概率之间的平衡，这个平衡必须由医院各部门工作人员的一致意见来决定。这一决策要使各种类型的血液过期的机会等于短缺的机会。用这些规则进行的模拟预言由五座医院和中心血库组成的系统，其短缺和过期次数可减少到这个系统（或者没有系统）当时实际曾经历过的短缺和过期次数的一

半。通讯和维持必不可少的记录所需的办公费用也并不太多。

这个系统到现在已经建立并运转了几年，这个模拟所预期的节约已经达到了，各方面的参与者全都满意。

象在其他情形中一样，在相信模拟会给出正确的预测之前，必须知道这种管理工作所有部分的详情——实际发生了什么，而不是人们希望会发生什么。在血库这个实例中，这个系统作为一个整体被采用之前，贮血规则曾在个别医院里试行过，以检查这些元素的状况是否同预测的一致。当模拟涉及到建议采用新的设备（诸如新式武器）时，就存在着很大的危险性，乐观的估计会导致完全不真实的预报。在可能的情况下，各元素工作状况的测试是唯一保险的措施。

6-9 汽车运输

电子计算机模拟也已经用来分析汽车运输问题。沃尔特·海利在马萨诸塞理工学院的博士论文中首先讨论了这个问题。在单向车道上密集运输的

车辆，和在隧道中一样，车流活动状况就象一种特种流体，任何一辆汽车的速度发生任何波动，都会产生冲击波，从那辆汽车向后传送（往往传到后面第二十辆汽车就必定会发出刺耳的刹车声）。这些冲击波将严重地使流动速率降低到低于平稳运动可能有的流动速率。周末旅行高峰期间，纽约港务局在几条运输隧道中就碰到过这种麻烦。他们请马萨诸塞理工学院研究这个问题，海利承担了这项研究任务。

这个模拟必须包含在这种车流中前后相继的汽车之间的相互作用。美国通用汽车研究实验室的实验表明，一般汽车司机都宁愿使自己的汽车与前面的汽车保持一定的距离，速度越大，距离也越大。但当前面的汽车速度发生变化时，由于汽车的加速或减速受到种种限制，也由于跟在后面的汽车司机反应时间上的延迟，这段距离将会出现忽长忽短的波动现象。海利运用所有这些数据以及反应时间中可能的种种变化和其他因素，精心编制了一个单向行车流动的模拟程序。经过重新调整某些参数和简化模型之后，这个模型相当好地符合非常稀少的运输隧道数据资料。它表明当重型卡车开始上坡时的减速往往就足以引起冲击波。

于是开始做一系列的模拟试验，看看能做些什

么工作来改善情况。有些试验结果是后面末端碰撞——当然是在电子计算机上模拟出来的。可以在电子计算机上进行的这些实验，如果在“现实生活”中进行，那就太危险了。最后决定，把车流划分成每组约30辆汽车的一些“车队”，队与队之间保持足够大的距离以便消除掉大多数冲击波，就可以使实际通过量增加约6%。曾经试验过这种方法，据报导说，通过量增加了约5%，在交通运输的高峰期间，这样做还是值得的。

6-10 运筹学的应用

所有这些例子都指出了物理科学的方法应用于操作过程的若干通则。首先是在任何一个复杂的操作系统中，尤其是那些公共部门中的系统，至少存在着各种不能定量表示的重要方面。某些政策必须由行政管理人员根据他自己的经验做出决定。因此运筹分析家们必须和行政管理人员密切合作，向他指明他的决策中有些可能造成什么样的结果，并把行政管理人员关于目标选择以及政治和道义的影响方面的意见溶合起来一并加以研究。由于其他方面

的一些原因，有时候上司必须对一项导致降低效率的政策作出决定。但至少他要知道会有多大的牺牲。分析家和上司之间的这种互相影响是应用运筹学家的任务中比较困难的部分之一，但是如果成功，也就受益更多价值更大了。

至于操作的目标问题则是最困难的课题之一，尤其是在公共部门中，利润在这里并不是压倒一切的判断标准。在由红绿灯、停车场规则、公共汽车和超级公路构成的交通运输网络中，衡量成功与否的标准究竟是车的流量最大、输送乘客最快，还是车祸次数最少呢？如果你要使某一方面最优化，那就很可能要使其它方面非最优化。保健计划究竟应该以减少由于生病而损失的工作日为目标呢，还是应该集中注意需要在医院里护理的病人呢？

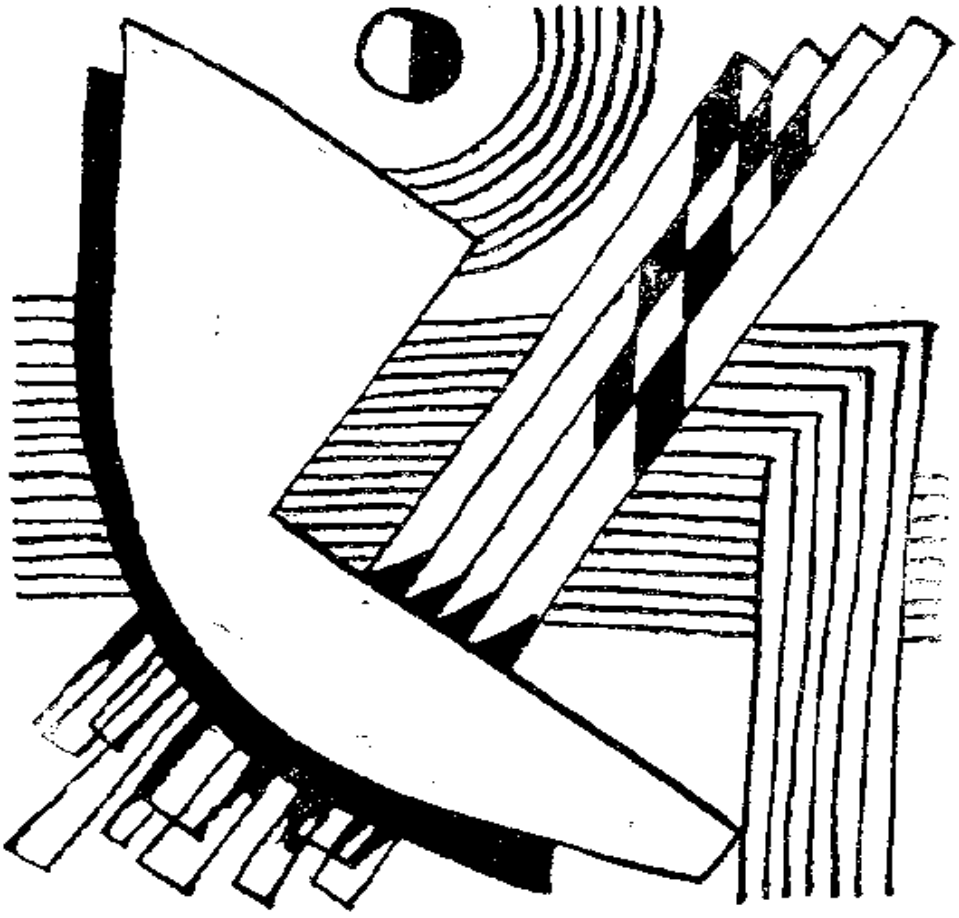
行政管理人员的第一个反应往往是绝对的。我们要求把我们城市上空的空气弄得像1890年那样洁净。但我们是否乐意赞同这个计划的全部结论呢？把有经验的行政管理人员的意见（尽可能地）加以定量化的全部问题是属于决策分析新领域中的一部分。我们能把自己对互相矛盾的目标恰当权衡的直觉看法翻译成数学术语吗？由此引出的组合目标函数能否用来求出最佳的答案呢？

在公共事业部门，效果好坏的最后仲裁者是普通公众。一位市长可能实行一项他认为情况将得到改善的政策。但是，如果最初的效果并不会令人满意，他就可能遭到公议而下台。所以重要的是了解公众的要求——不是了解他们想要的是什么，而是了解实现什么之后他们会感到满意。我们得到的公众的那种书面调查意见是没有多大帮助的。他们提的问题往往太笼统或者太含蓄。通常，他们要求人家立即发表意见，而不去更深入地探究根本的看法。对某一个人的意见来说，这也许是有用的，但在处理对立目标之间的复杂权衡中，它们就很可能把人引入歧途。在必须寻求相反的行动之间恰当的权衡时，调查报告往往总是要求绝对的答案。非常多的人都在想他们要些什么，只有接触现实，才改变他们的主意。

当前，这是一个开拓性的领域。它可能用到训练有素的心理学家、社会学家、以及决策理论和市场理论方面的专家。我们询问人们想要做什么以外还必须细心观察他们在做什么。在判断长期的公众反应方面，任何一项改进措施都有极大的重要性，因为确定效能的种种适当标准，对公共部门中运用运筹学的所有工作来说，都是最基本的。马萨诸塞

理工学院的一项新的研究项目叫作方案反馈，就是在这个研究方向上的一种尝试。而它的前驱则是史蒂文斯和利特尔进行的一项研究，这项研究是为波多黎各当局查明这个岛上极其贫穷的人民对目的在于改善他们命运的种种努力有什么感想。

虽然我们应当认识到这种利用物理科学方法的方式是有它的严重局限性，但是我们也必须看到，只要谨慎地运用，它可以发挥出巨大的潜力。



第七章

喷气推进实验室的系统工程

W·皮克林·

* 威廉 H·皮克林（WILLIAM H·PICKERING）
加利福尼亚理工学院喷气推进实验室主任。

7-1 喷气推进实验室（JPL）的发展

我在这里提出的一些思想是以喷气推进实验室（以下简称JPL——译者）的系统工程实践经验为依据的。1940年以来，JPL从加利福尼亚理工学院航空系一个研究生学位论文设计发展成为现在这样的组织机构，成员约四千人，其中有二千专职工程师和科学家，与美国国家宇航局（以下简称NASA——译者）订有合同，承建和发射飞往行星的宇宙飞船。JPL以前是以纯粹研究为方向的实验室，逐渐演变成为一个大力从事开展复杂的大型工程项目系统工程实际应用的实验室。在这一过程中，我们已经为自己发展了许多成功应用系统工程的原理，而且懂得如何组织工程队伍来完成困难的工程项目。

直到第二次世界大战结束，这个实验室曾为美

国陆军服务。战争爆发的第一年，它得到了美国陆军航空署的支持。当时交给实验室的任务是研究应用于飞行器上的火箭发动机设计原理。由于实验室在发展喷气加速发射原理方面获得了成功，于是接受了请求，把这项专门技术转让给可以大量制造喷气加速发射装置的厂商。JPL 在这方面的活动基本上可以作为工程研究的典型。我们虽然关心一个成功的火箭发动机设计的工程原理，但是对于这些发动机如何装配在飞机上的工程问题，或者对于这些发动机如何应用到空运任务上的分析问题，却很少关心。

第二次世界大战快结束时，美国陆军军械署要求我们实验室探讨火箭在远程大炮上的应用。（当时，“远程”是指100哩。）那就必须了解由火箭发动机、燃料箱、制导和有效载荷组成的火箭系统。于是，象航空动力学家，电子工程师这样一批新型工程师便成了这个组织的一部分，这一群人开始起着犹如系统工程工作组的作用。然而，他们工作的重点仍然放在研究上，而且他们也很少有什么系统工程的训练，因为这在当时还不是必要的。尽管这些工程小组在共同问题上一道工作，而且对许多成功的工程项目负责，但是按照今天的标准来看，它

们仍然会被人说是无组织的。他们的目标并不是要使设计最优化，而是要建造某种可以运转的东西并理解这项设计的工程原理。当然，这在导致最佳结果的参量研究能够进行之前是必不可少的。

在JPL 成为一个系统工程组织机构的演变过程中，下一步是陆军军械署要求研制一种作战用导弹系统带来的。因为这一任务有固定的期限，需要尽快地投入生产，所以同意JPL用 试飞成功的那个研究火箭来研制作战用导弹系统。这实际上就意味着尽量把现成的元件连接起来生产一种可以运转的装置，然而，这种装置远不是经过周密设计制造出来的系统。老实说，这就是称之为“下士”的导弹系统的实际情况。

这个导弹系统真得运转起来，经过军方的努力，它运转得更好了。但是，它造价高、效能低、而且还需要大量辅助设备。这种情况说明了把一个系统连接在一起的结果，而不是设计制造这个系统的后果。

从我们实验室的观点来看，有不少值得吸取的教训：

① 如果一个复杂的物理系统要由那些不大熟悉业务的人员来操作，那么就应当明确了解最

终用法的人—机接口才能设计这个全部系统。

② 把为其他目的而设计的各种装置集合起来的折衷方案，只能产生一种效能低的系统，操作困难，价格和维修费也很高。

③ 要使一个完整的最优化了的系统有保证，就必须把全部系统的设计职责和权力授予执行机构。在负责开发硬件的各种技术小组、工程小组与负责达到各项指定目标的工程项目管理部门之间的通讯渠道必须短捷。然后才能合理地保证用最优化的硬件解决技术问题，认清全面的工程目标和约束条件，并使它们在设计中得到体现。

④ 要把知识从研究开发机构传授给进行生产的工业公司并不是一件简单的事。这里有三个大难题。第一，要把使得复杂硬件实际生效的全部知识都写成文件，实际上是不可能的。有的程序正是（你认为正确的）你的传统想法和做法的一部分，因此太容易忘记提到它了。在传授知识过程中的第二个难题是，不同的组织不仅有不同的传统信念，而且还有不同的解决问题的方法、确立接受准则的方法和保证质量的方法。第三，研制出这个系统的工程师必须向这样一群人解释他的各种决策，这些人并不明白该系统的约束条件已经对那些决策有了影响。因此，关于这种系

统的文件必须富有教育意义，同时又必须是精确的、权威性的和完备的，工程师将会发现他自己卷入在教育过程之中。

我们实验室曾经有机会向美国陆军军械署表明，能够发展一种比“下士”更好的导弹系统，如果要求我们研制第二代导弹“中士”的话。这次委托任务包含全部系统的责任，以及实际的用户要求和约束条件。我们研制了这个系统，把它转让给工业生产部门，并帮助美国陆军进行初期战地演习。这样，我们为复杂大系统承担了一项典型的系统工程任务。1958年，正当我们的隶属关系转移到NASA的时候，这项工程就顺利完成了。

自从加入NASA以后，这个实验室一直在扩充它在系统工程方面的能力。我们对NASA负责，指导实现飞向月球和行星的无人驾驶的宇宙飞船的任务。为此，我们研制了许多宇宙飞船系统并付诸实现，这些系统要求有先进的思想，并把许多科学技术学科融合在一起。在下面我们将讨论在考虑这些任务时所涉及到的一些系统思想。

7-2 登月和星际飞行工程中系统思想

获得胜利完成飞往月球和行星任务的能力，是在下列五项独特而又比较新的空间技术得到发展的时候：

1．发射宇宙飞船使之进入设计的轨道以拦截月球或行星的运载火箭。

2．能几天或几月在外层空间中高度可靠地自动操作的宇宙飞船。

3．飞行中推进器的操纵能力应提供到达目标所必需的精确性。

4．确定宇宙飞船在地球与月球之间的轨道或在行星之间轨道的系统。

5．〔地面〕与宇宙飞船通讯的系统：向上传达指令，向下传送数据以及跟踪系统。

〔完成〕这些任务需要有也许是几十万个零件所组成的一些系统，几个主系统承包商，许多子系统承包商，以及要求好几十万人成年累月的努力来完成的工程项目。这些工程项目常常包含同一种类只有一两个的设计，由于受到费用和预定日期的限

制，难得容许试飞。因此这些工程项目就必须在有大量未知因素的条件下来落实，而未知因素则包括（在先进设计中总是要碰到的）技术可行性和这个系统必须在其中活动的环境。

7-3 系统工程

要在一定费用和预定日期内完成这些工程项目，使它们具有合理预期的最佳性能或达到预期的设计目标，系统工程的方法显然是必不可少的。从根本上说，系统方法必然带来整个系统的最优化，同时反对使系统的元素一个一个地次优化。这种全面的最优化是经过下列若干步骤达到的：

1. 目的定义和问题表述
2. 目标和评审标准的提出
3. 系统综合
4. 系统分析
5. 系统选择
6. 系统实现

实现登月和星际飞行任务的系统工程，其构思，设计，制造、操作，就是依据这种有条理的行动计划。

按照登月和星际飞行任务的先后顺序，在科学的和工程的可行性研究的基础上提出每项任务的目标，系统地阐述登月和星际飞行的目的。设计评审标准规定了评定各种可供选择的系统等级的方法，确定这项任务的各种不同的方面和目标的重要性，并为权衡得失提供一项根据。

系统综合和分析最初是根据完成这项任务所要求的功能来进行的。为了实现各种硬件的效能，设计就要不断地反复。就任务目标和设计评审标准而论，所选定的设计代表一个最佳的选择。

要集中统一一项特殊任务的管理工作和工程作业，就需要一种项目组织。“矩阵”式的组织结构使得这个组织能得到各方面技术力量的支援。传统的组织机构表说明职能部门的纵向联系，而今则复盖有横向联系的各个项目，这些项目与部门结构相交。一个从职能部门调来搞一个项目的工程师，在行政上要向职能部门汇报，而他的工作则要接受项目管理部门的分配。他的工作表现是由职能部门和项目管理部门联合评定的。

为了完成这些工程项目，必须将它们分解成为可理解的部分。空间项目首先按大类分成几个系统。登月和星际飞行工程项目一般是由四个系统组

成的：

1．宇宙飞船系统，由宇宙飞船及其辅助设备组成。

2．运载火箭系统，由运载火箭及其辅助设备组成。

3．跟踪和数据系统，负责提供和维修地面跟踪、遥测和指令站，地面通讯，任务操作设施。

4．任务操作系统，包括负责设计和执行任务操作的管理机构。

把这些系统进一步分解成为种种子系统和组成部分，使其复杂程度达到象能够加以处理的一个单独元素一样。在进行系统分解的同时，就要确定元素之间的分界面（即接口——译者），规定这些元素各自的功能界限。

把一个系统分解成为种种功能元素可不能随心所欲地蛮干。选择分界面的拓朴结构需要有大量的管理知识和工程上的专门技术；分界面的拓朴结构会在管理上和契约上两方面影响工程项目的安排与监督，并且还会影响系统在工程上结合成为一个整体以及它的操作状况。从管理的立场来看，确定分界面为的是使可见度最佳，管理效率最高，使独立转承包的各个元素隔离开来，便于授权与承担责

任。从工程的立场来看，确定分界面的位置，为的是把独立的功能分别开来，使全部系统容易集成为整体，便于试验与操作。

在早期设计阶段，可能并不知道如何使一个系统生效的精确方式。举例来说，究竟是应当使宇宙飞船自旋稳定呢？还是应当使它惯性稳定？究竟是应当由太阳能电池提供动力呢，还是应当由核装置提供？因此最初是依据每种功能的性能规范和约束条件，而不是依据执行计划来说明一个系统的。

在这一点上，说明这个设计是靠一组子系统、每个子系统的功能和约束条件以及分界面拓朴结构的轮廓画法。因此扼要地表明这些子系统设计的特点，而可供选择的子系统实施方案就不言而喻地省略了。这些子系统的工作特性和约束条件又通过这个系统返回来加以说明，并重复这一过程来产生一个最优化的、自洽的初步设计。

初步设计说明书是一套关于功能要求和分界面（即接口）控制的文件。这些文件明确规定：这项飞行任务强加于宇宙飞船设计的全面要求和约束条件，各个主系统的分界面及各个子系统分界面的拓朴结构，这个系统强加于各种子系统设计的功能和约束条件。它们充分深刻地说明了这个设计，从而

可以独立地进行属于细目的子系统定义。

7-4 成功的设计

可靠性 在太空飞行任务中最难满足的要求或许就是可靠性。它提出种种争议最大的关于太空系统管理与工程的评审标准。

在宇宙飞船设计中一般有好几万个电子零件，许多电子零件本身就是微型装置(参见图7—1)。二十世纪六十年代初期，存在过严重的担心，就是，数量极大的零件，每个零件不合格的概率很小却总是有的，那就会导致这个系统有一种内在的不可靠性，就会使得星际飞行不能实现。早期太空飞行的多次失败，使得这种担心的证据增加了。在飞行任务经常出现成功之前落实太空计划方面发生了根本变化。现在很明白，达到可靠性的过程，必须从如何实现飞行任务这一首要思想出发，一直到这项任务的最后一件事情获得完满成功方才结束。

稳妥的方法 设计登月和星际飞行的宇宙飞船必须采用稳妥的方法，才能达到飞行任务成功的概率极高所要求的种种极可靠的水平。最稳妥的、能

够满足任务要求的各种设计都必须认真地加以考虑。这就一定要尽可能地使用经过飞行检验了的硬件，而且还要为新的设计应用非常巧妙的技术，藉此，把设计中出现的未知数减少到最低程度。但是，只是在原有的设计经过飞行检验证明不能满足任务要求，而新的设计又在地面上做了大量试验之

零件类别	水手IV号	水手V号	水手1969号	水手1971号
电容	5,570	4,594	3,222	3,957
电阻	15,607	10,781	9,916	11,031
二级管	9,922	5,047	4,418	4,748
晶体管	4,323	3,027	3,035	3,296
集成电路实际数量	—	594	2,763	3,063
（集成电路等效数量）	—	(17,226)	(80,127)	(88,827)
杂项*	3,798	1,225	1,105	1,256
实际总计	39,220	25,238	24,459	27,331
（等效量总计）	39,220	42,494	104,586	116,178

*杂项包括开关、晶体熔断器、电感器、变压器、继电器等等。

图7—1　宇宙飞船所用电子零件数量比较

后，新设计和新技术才能被采用。

简单性 简单的设计很可能最大限度地减少零件、工作方式和接口，而且影响系统和系统操作的未知量也最少。具有安全装置的设计基本原则也该当用上；宇宙飞船即使出现了故障，还应当能够执行大部分任务。这系统尽管在主要参量方面有某种程度的降级，都应当有操作能力。

后备能力 达到系统水平的可靠性的一个重要方法就是要有后备能力。一切与任务相适应的功能都应当有后备能力或备用方式来维持，而且这个系统还应当有预防非关键性元素方面的故障。通讯和动力子系统，是任务的关键部分，通常都有备用的元件。在"水手1969"号宇宙飞船上，大多数电子计算机指令状态的变化是靠地面指令处理的。此外，具有备用元件的情况还有十多种。

接口设计 这是飞行任务总体设计中极端重要的部分。在这个系统的各个组成部分之间、系统与系统之间、人与人之间、以及组织机构之间，都存在着相交的分界面（接口）。经过接口传递功能尤其容易出现设计错误。硬件相互作用的地方（即硬件接口）往往也是不同的组织机构之间职责相互影响的所在之处（即责任接口）。因此，为了能适当

地设计接口的每一侧面并在装配之前能〔对它们〕进行检验，而且也为了接口责任能够得到明确的理解，接口的设计简单，是必不可少的。在早期的“水手”号宇宙飞船上，宇宙飞船系统与运载火箭系统的接口出现在飞行离体接头的地方。在“水手1969”号宇宙飞船方面，已经把接口移到地面接头处。这样，在接口定义中删掉了飞行离体机制，也就简化了管理接口以及试验和操作。

设计还必须考虑许多其他因素。要达到最高的置信水平，设计必须能够经受试验和分析。当试验结果与分析〔所作的〕预测符合一致时，设计的置信度就达到了。

7-5 试　验

在制造和组装作业过程中，应当安排试验作为必不可少的组成部分。试验结果应当成为系统设计的因素，哪里试验结果表明任务目标将会受到损害，那里就必须作出相应的变更。

安排试验可以完成许多任务。在完成设计需要更多的信息的地方，试验为它提供数据（研制试

验）；试验可以证明这项设计合格（定型试验）；试验可以确证执行飞行任务中所用的硬件有效（飞行验收试验）；试验可以提出标定数据和特征数据，而且试验还为执行飞行任务的全体工作人员提供训练的机会（任务模拟）。试验是从零件和材料试验开始，包括各个层次上的组装：部件，子系统和系统的组装。

用于试验的时间是有限的，这就限制了能够加以考察的操作状态的范围。“水手1969”号在系统层次上可辨别的状态就超过10^{21}种，即使以每秒钟出现1000种状态的速率把全部系统状态排列成为一个序列，在已知的宇宙寿命内，也不可能使所有的系统状态全部经过试验！

7-6 飞行任务计划

只有到详细的飞行任务计划已经制定出来并经过了检验，而且全体工作人员也都按他们的职责经过了训练，这项任务的准备工作才算最后完成。飞行任务计划书必须包括贯穿这项任务各个方面的全部系统功能之完整的逐一说明。飞行任务计划应当与

任务目标和工程项目的约束条件协调一致，以可靠的方法使这项任务取得最大的收益。

7-7 工程项目管理

工程项目都带有暂时的性质，没有两项工程事实上会使用完全相同的资源，而且任务也都是复杂的，这些情况要求一开始就应当明确具体地鉴别任务目标和分配给一项工程的资源，职责和权力也必须叙述清楚。

JPL的登月和星际飞行工程项目，是按照工程发展计划书中规定的管理程序进行管理的，这个计划书又是根据NASA管理须知中提出的指导路线制定的。在指定由JPL负责管理的时候，这项工程管理部门就向JPL的航空工程计划处报告行政工作，并向它和NASA的空间科学司呈送技术报告。

从根本上来说，JPL这个组织是集中注意于技术训练和专业训练的，实验室内承担工程项目工作的人员和小组，大多数都是各种不同技术部门的成员。每个技术部门都为该项工程指定一名专职代表，对这项工程中本部门的工作承担责任。实际

上，各个部门，包括服务和辅助部门，都在某种程度上参加了工程项目的活动。

工程项目管理部门必须一次又一次地提出四个问题：（1）它进行顺利吗？（可靠性），（2）它会按规定进行运转吗？（性能），（3）它安排好了吗？（进度表），以及（4）要付出什么代价？（资源）。对有关可靠性、性能、进度和资源这些问题所作的回答，就成为不断估价这项工程的状况和进展的信息基础。

工程项目管理部门同从事这项工程的单位通过预定的工作会议协调彼此的工作，这种工作会议，从工程项目建立之日起，一直到任务完成为止，总是定期举行的。这项工程管理部门同 NASA 各总部、JPL管理部门、以及从事该项工程的单位，通过对设计的一系列审查来协调彼此的工作。在预备阶段，是对设计和认可的硬件在系统和子系统层次上进行审查。这些审查结果构成了提交委员会的呈文，通常，这件报告还附有详细的补充文件，再加上这个委员会转交给主管该项工程或有关系统的负责人的建议。这种审查的一般目的有三方面意义：（1）以审查委员会的形式，运用独立的和上级的评判意见来影响这个系统或子系统的各个方面；

（2）郑重通知特定管理人和工程师们对固有特征和接口特征共同商讨的意见；（3）揭露未加说明的问题或提出新的问题，并给出答案。

工程项目通过组装、试验和评价这些综合步骤达到它在性能和可靠性方面的目标，它从得到零件和材料开始，并以发射和遇到迅速评价而告终。这个系统的性能是通过试验和分析的结果与性能说明书对比来评价的。这项工程的可靠性，是通过大量涉及该项工程工作许多方面的可靠性方案来达到这个目标的。

达到可靠性目标，必须要有零件的规格要求和控制程序，并且必须控制硬件制造过程。必须要有保证质量的程序来控制硬件制造工艺，并且保证全部试验目标都得到满足。必须要有结构管理程序能够鉴定和校正分配给每艘宇宙飞船的特殊部件。从零件和材料试验开始，并在各级层次的系统组装中作好系统各元素的功能试验和环境试验，这样一整套综合试验程序也是必不可少的。

此外，必须要有识别和解决问题或故障的可控分辨能力系统，它能够回答下列问题：（1）出了什么故障？（2）故障的情况如何？（3）为什么出现故障？（4）怎样排除故障？（5）不会再出现故

障吗？

最后，必须要有详细任务计划，这是要由经过训练合格的人员使用要在经过试验与分析的机壳内运转的系统来执行的计划。

及时控制工程费用和进度是极端重要的。因为工程项目管理部门，若不采取矫正行动，那末意想不到的问题一定会造成费用增加和进度错动。工程状况必须一次接一次地重新进行评价：实际开支应当与计划费用对比，实际进展应当与进度安排对比。

控制工程进度对于圆满地完成星际飞行任务是绝对重要的。如果登月飞行有可能逐月计算，那么发射星际火箭的时机就间隔很长了——发射到金星的火箭前后两次间隔的周期为19个月，而飞往火星的发射周期则为25个月。因此，必须在没有日程差错的前提下来鉴定和解决工程问题。

图7--2是一种类似“水手1969”号重大事件进度表的控制图，它用于大多数的工程简报之中，而在详细的规划方案中却并不打算用它，因为早期发觉差错是不太可能的，而且这图表也没有表明规定的活动之间的相互关系。

为了这个目的，美国海军在五十年代末期提出

了PERT(计划评审法)。通过显示各个事件，各项活动，以及它们之间的相互关系，PERT 是一种工具，工程管理部门能够用它来估计这些事件或活动的效果，并且选出那些不能推迟否则就要影响工程进度的活动组成“关键路线”。

费用总是一个硬性的约束条件。必须使工程规模与可利用的资源相适应，并且一旦费用接近限额时，就必须更改这项工程的各种计划。除了保持一套准确的当前和过去的工程开支最新账目以外，还必须经常推断完成任务总的工程费用。

图7—3表示完成“水手1969号”火星探测器工程所需费用的估计情况。早期费用的增加同系统有效载荷的选择，以及同NASA采用那种有效载荷而进行的决策有关，而后期费用的增加，则同实现子系统的承包费用的不断增长和宇宙飞船费用的变化有关。

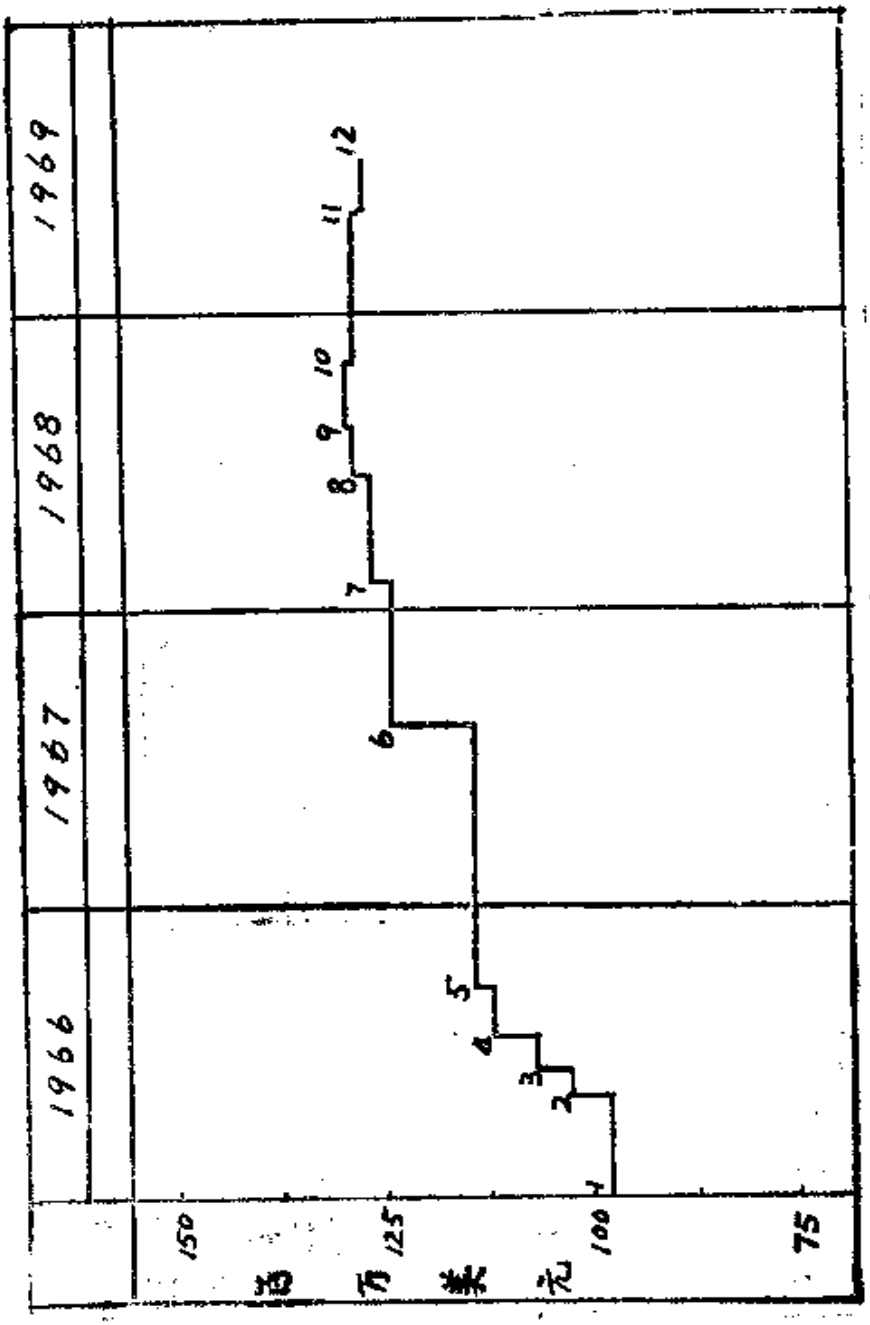


图7-3 “水手1969号”费用趋势分析

7-8 民用系统工程项目

到1965年，已经可以很明显地看出，JPL原有的有关空间技术和系统工程技术，可以卓有成效地应用于关系国家利益的其他活动之中。

摩根城运输工程

最近，JPL完成了运输部的一项工程初步设计方案，这项设计表明，为了适应城市中大型大学的需要，公共运输的新的系统概念的可行性。这项工程涉及到西弗吉尼亚大学，摩根城和运输部的城市大宗运输管理处，它的意图是要证明，就随叫随到的和按时刻表的服务方式而言，一种用计算机控制的、全自动化的运输系统，在技术上、运行上和经济上的可行性，而且还证明它与其他运输形式的相容性。这个系统将使用一队用计算机控制的车辆，运行于六个不在主线路上的车站之间的一条3.5哩的专用导轨上。

在UMTA的全面指导下，JPL负责摩根城这项工程初步设计阶段的系统管理。这一系统管理职责现已归还给UMTA，目前它在承包商资助下正在完

成该系统。而西弗吉尼亚大学则承担了对该系统用户的管理责任，包括协调大学和社会的要求，并且在为系统的运转和维修作准备。

初步设计阶段，在JPL进行的这项摩根城交通规划是受一位JPL工程项目主管人的指导，他向实验室主任办公室报告工作。JPL这项规划的作业线和技术组织共分为四大领域：运载工具系统、控制和通讯系统、结构和动力分配系统、以及综合计划。在这四个领域中，每一个领域的系统主管人都得到由JPL技术部门委派的一个组的协助。JPL管理处通过委员会和评审研究会议不断估计工程规划的进展。

当地的导轨建设已经开始。子系统和系统试验于1972年开始，设计原型实验安排了一年的时间。系统的原型由导轨联结的3个运转站，5个原型运载工具和一个控制中心组成。在1973年10月的正式“联合验收”将证明最初的工程设计要求得到满足，这个系统可供公众使用。

工程检验的最后阶段，将证明这个系统能满意地运行，并且能满足实际交通运输要求。1974年2月将完成第一次评价，同年10月将完成第二次估价。在这期间，将开始移交给西弗吉尼亚大学，而

且要在1974年11月移交完毕。

系统的描述 无人驾驶的运载工具完全是自动化的。自动化的功能包括控制运载工具的速度，以保证前后两辆运输工具之间的安全时间间隔最小；核对位置和性能监测以决定减速情况。运载工具由电动机车的输电轨输送电力，并进行加热和空气调节。每辆机车通过感应回路和电缆接收到自己的运行指令。这些车辆采用四个单独的橡胶车轮行驶。坐舱上有一套装置，连接一个追随着导轨几何形状的传感器，用来操纵运载工具。

令人满意的呼叫服务站台等候时间不超过两分钟；按时刻表运行等待不超过半分钟。离开站台后，运载工具将缓慢地移动到调度点，在它进入主要导轨运行之前，等候计算机发出加速指令。在导轨上，运载工具之间距离不变且维持30mph（哩/小时）的速度运行。当运载工具接近目的地时，将得到退出到另一斜轨上去的指令，且在靠近站台路轨交叉点时减速。

导轨将由固定的、在每个方向上容许单路运输流的路面所组成。出入口轨道将主导轨与各站台和维修设施联结起来。导轨实际上可以全天候运行，为防止积雪、冰冻，在路面的下面装有加热装置。

中央计算机将控制全部运行过程，其中包括运输工具的起动、制动、速度快慢、上客、下客、开关和全部监测功能。在正常运行方式中，所有控制信号都是由存储在中央控制计算机内的程序自动发出，存储程序的功能，既可以是应答预先编制的程序（调度），也可以是应答实时（要求）的数据输入。

摩根城的这项工程乃是一项真正有益、意义重大的事业，它开创了将系统工程和管理技术富有革新精神地应用于民用部门的规划之中的先例。

7-9 城市保健系统任务

JPL的另一项民用系统是城市保健系统，鉴别和采纳包括华兹在内的洛杉矶中南部城市居民的保健质量得到改善的各种方法。

在美国，医疗多年来卓有成效。然而医疗系统的组织形式迫切需要革新，以适应新技术和新知识的应用。尽管如此，医疗系统却相对地保持不变。1970年洛杉矶县保健规划委员会建议这个县采纳一种医疗保健系统，把各个医院、诊所、流动护理中心

和家庭护理汇集成一个以联营为基础的网络。洛杉矶的中南部被选作为该县建立这样一种网络的第一个地区。新建的小马丁·路德·金总医院是纳入网络的第一所县医院。

城市保建系统任务是由JPL和小马丁·路德·金总医院合作搞出来的。最近完成的是这个地区综合医疗保健系统的系统分析，它类似于JPL在早期宇航工程规划中所作的飞行任务分析和各项工程的研究。

这一任务初始阶段的具体目标是：

1．确定联营医疗保健事业的各种需求。

2．制订评价医疗保健系统的评审标准。

3．提出一份完善的系统说明书。

4．根据对应急护理、妇幼保健和健康检查这三项职能的详细分析，计划以后各阶段上更加广泛开展工作的可行性及价值，并加以论证。

已经提出来的这个系统说明书包括系统各个元素、系统及其各元素的职能，以及存在于各系统元素之间的相互影响。系统元素包括各种设施、组织、人员和资源。人员的类型包括病人、医生、护士、技术人员、行政管理人员以及学生。系统资源是联邦、州和县的专款以及由基金会和自愿参加的团

体提供的。主要系统职能的部分项目包括预防医学、治疗医学、教育、行政管理和设备维修。

控制病人流动的医院挂号系统的初步模型已经研制出来。就医病人要求的医疗服务一般可分为妇产科、外科、内科或儿科这样几类。这一挂号系统可以用一个数学模型来处理，该模型系对原有各〔医疗〕系统进行统计而得出在每个岗位上占用时间的概率分布。这种模型既可以用蒙特·卡路法运算，也可以根据通用系统模拟电子计算机程序求得。这样就能够调查研究出挂号系统可能具有的各种结构。

曾经做过一种分析，是关于在三个选来做周详研究的地区中改善保健工作有效措施的具体建议的分析。这些研究包括下列几个步骤：

1．说明现有的和计划的各种方法。

2．鉴定目前护理工作上的限制条件，研究提出评价各种可能的改进措施的标准。

3．分析现有的和潜在的资源。

4．鉴别特殊的、定量的行动要求。

5．研究提出受人欢迎的行动路线。

7-10 结　论

由此我们可以看到，多少年来，JPL 已经对种种要求采用大型硬件和软件系统的工程项目进行了研究。要卓有成效地完成这些工程项目，就需要广泛地应用系统工程的方法，现在我们希望把这些方法应用到更广阔的民用系统中去。

当然，所有工程任务都包含系统工程这一元素。如果你打算制造一种更好的捕鼠器，那么在你选择一种最佳的、成功的设计之前，你必须考虑许多因素。然而，系统工程或系统方法这一名词，通常留作大型工程任务专用，而要完成这种大型工程则要求具有技术熟练的多种学科的工程师队伍。

在美国国防部和NASA的许多工程项目中都已成功地运用了系统方法，而现在又打算把系统方法当作解决民用部门中许多麻烦问题的一种手段。然而，只要许多其它因素不改变，则民用部门中的大多数问题，都不能用系统工程来解决。为要说明这一点，让我们来考虑一下可采用系统方法的工程项目的要求：

1．这项工程必须明确定义。做任何事情之前都必须清楚地陈述所期望的最终结果。譬如，1961年阿波罗工程的目标是：十年内，把人送到月球表面上去，而且要安全返回地球。

2．必须清楚地了解这项工程的各种约束条件。这些约束条件包括费用、进度、以及同等重要的、为数众多的管理、立法、政治和其它限制因素，它们限定可以接受的解决办法的类型。

3．必须商定这项工程的组织。上至分配项目和分配财政的最初来源，下至试验台前的技术人员，每个层次上人员的职责和权力都必须清楚地加以说明，而且在工程计划的整个生命期，必须是神圣不可侵犯的。

4．这项工程必须由具有必要的技艺和设备的队伍来实现。必要的工艺技术必须利用。

只要这四个条件得不到满足，系统方法就不能得到值得称赞的解决方案。在各种具体问题中，还需要附加别的评审标准。那就是与既定解决方案有联系的价值和风险。如果能把它们定量地表示出来，那么在数学上则可以求出最优解。实践上，要得到精确的解决方案也许十分困难，于是，还必须依靠工程项目部门的判断。

在民用系统的情形中，对四条评审标准中的任何一条，恐怕都很难得到明确具体的答案。而价值判断肯定很难得到一致的意见，譬如，假定我们想确定一项消除、或至少是减轻洛杉矶盆地中烟雾的工程。甚至准确说明这项工程恐怕也很困难。要理解那些影响可见度、农业和人的舒适的因素，就必须进行调查研究。然后，对于哪些因素能够减轻多少，还必须有一致的意见。至于有关的约束条件，肯定要考虑许多立法的和政治的因素，而且还要考虑市民对解决方案的接受问题。要进行这项工程这个组织会要求澄清职权。譬如说，该项工程管理部门能强迫市民接受解决问题的方案吗？或者解决方案必须经过州或联邦立法机关审批吗？至于执行，如果其它因素都能得到解决，或许有可能建立一个适当的执行机构。但最后一个关于价值的问题很可能是最难解决的。为了消除烟雾，每个人值得花10元，还是值得花100元？这个问题只能通过民意测验得到解答。诸如此类的这些问题清楚表明，系统方法不管它的理论贡献有多么大，也很难应用到许多民用系统中去。

再回到JPL的在系统工程方面的经验上来，值得注意的是，绝大多数需要商榷的问题都是同系统

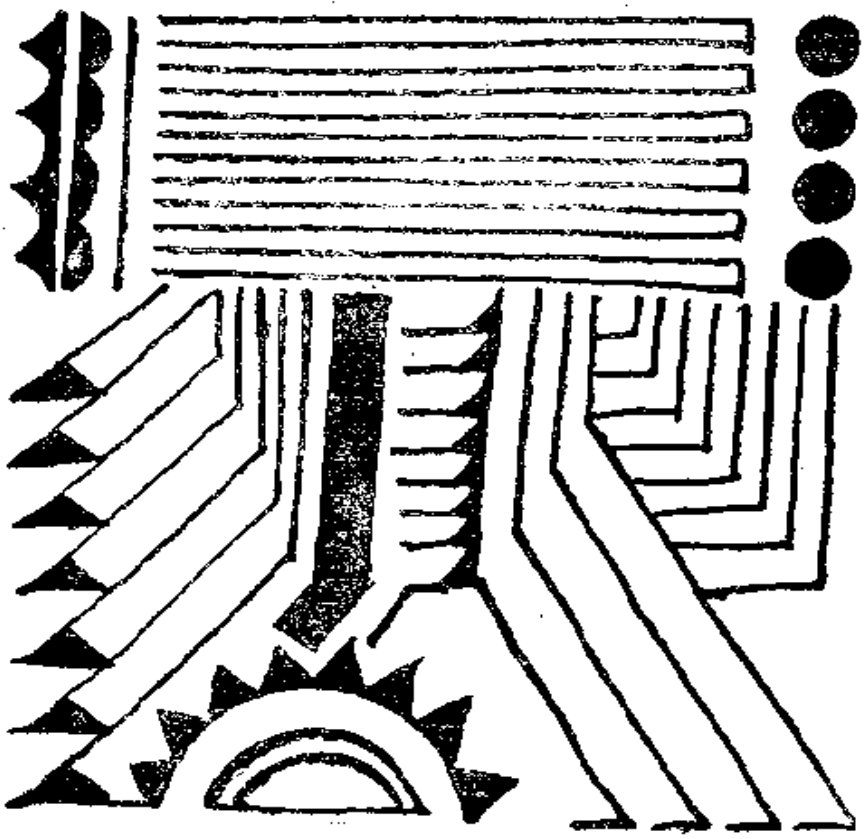
管理、明确规定各项目标和了解工程项目的约束条件有关，而不在于应用数学方法求解最优化的问题。这些数学技巧在JPL也用过，但正如前面所说的，最优化方程中的许多关键函数往往很难用数量表示出来，因而必须采用各种判断因子。只要有可能就要开展对参数问题和最优化问题的研究，而对某些系统决策而言，它们的确是实质性的问题，选择飞往行星去的火箭发射日期就是个例子。然而，许多决策必须在只有少量的甚至没有定量信息的基础上作出。当系统组织明确地规定了决策责任时，而且当有知识的人员组成的系统工作队，象一个人一样进行工作时，这些就都是好的决策。

因此，系统工程的实践同管理和信息的关系比同数学的关系更为密切。另一方面，子系统必须从所有的性能参数角度进行分析，显然各种数学方法及计算技术都是必不可少的。

JPL大胆地对民用系统进行的研究，为我们提供了把我们的才能扩展到这些新领域中去的机会，并使我们了解到把系统方法同这样的系统结合起来产生的各种问题。摩根城和医院这两个系统是完全不同的两个问题。摩根城工程项目同我们所熟悉的宇宙飞船工程项目的关系比它同医院工程计划的关

系更为密切。摩根城问题是一个可以明确规定目标和约束条件工程项目，其最终产品是一个硬件系统。如果这个系统证明它有能力按规定的可靠性和速度来运送乘客，那么这个系统就是成功的。它也应该是经济的、能使乘客感到满意的系统。这项工程的责任是明确规定了的，而当地市政府和大学管理部门的作用也是清楚的。总之，除了需要某些不同的技术训练以及人—机接口更加重要以外，可以认为摩根城工程与宇宙飞船工程相类似。

另一方面，医院工程项目很少有常规工程项目的式样。只能大概地确定各种目标。约束条件是由与大量的机构、县政府、美国医学协会、立法要求等等的接口产生的。这项工程中的职责同样模糊不清，并且取决于上述的接口。这项主要是软件工程，其结果就更难评价了。



第八章

阿波罗：回顾

G·缪勒*

• 乔治 E·缪勒（GEORGE E · MUELLER） 系统开发公司董事长。

工程师是手艺人——在韦氏大词典中关于工程师的定义中，有一条是说，“以熟练的技艺、或精明的设计从事某项事业的人。”这一条定义肯定适用于管理和设计阿波罗工程去开发月球的那些人们。在这一章中，我并不想描述阿波罗计划的正式程序，也不想描写阿波罗计划的时间表（这一计划的全部内容已有正式文献记载），而是打算通过回忆自己在管理这项计划过程中的一些经验体会来说明创造力和革新在现代系统工程中的必要性。尽管就使用的资源和运用的技术来说，阿波罗计划的规模是庞大的，而且面临大量的不确定性和前所未有的技术复杂性，最终通过少数人制定困难的决策，还是解决了主要的课题。

8-1 阿波罗预算

阿波罗计划是空前庞大的工程计划。在计划尚未编制完成之前，就要求投入200亿美元的费用和二十多万人的工作。这里我首先想指出，一开始这200亿美元的数字就是以非常顽强的精神取得的。国会向美国国家宇航局（NASA）副总指挥休·德赖登，到月球上去要花多大代价，他告诉国会需要花费200亿到400亿美元。正如人们在为政府工作时所知道的那样，听较小的数字比听较大的数字要清楚得多，所以，阿波罗预算被定为200亿美元。这个预算数目每年都要复审，当我到华盛顿执行这项计划时，下一年度的预算已被削减了10亿美元。因此，我执行计划的第一点体会就是理智地寻找那些不是绝对必需的东西并且把它们砍掉。这在系统工程中是一种最有价值的原则。

8-2 辐射危害

然而，金钱仅仅是问题的一个方面；还有其它

方面的问题，开始面临的情况是，科学界对为什么要到月球上去和能不能到月球上去，意见都不一致。总统科学顾问委员会和国会都提出了种种严肃的问题，其中一个问题就是人在太空中遭受辐射的问题。仅仅在几年前刚刚发现围绕地球迅速运动的荷电粒子形成的范·阿伦带，还没有人能肯定它们的范围及其辐射强度。近年来还发现了太阳风，它是充满在太阳周围空间的大量荷电粒子，如不加防护，其辐射量能使人致命。国会曾听到过这些事情，并且想知道我们怎样能够建议把人送入宇宙空间去承受未知的、可能达到致死剂量的辐射。

这是一个难题。关于太阳风的频率和强度我们都知道得不多，而范·阿伦带也尚未完全探测清楚，无法说出它们延伸多远。因此我们花了几个月的时间深入细致地研究地球和月球之间的辐射水平。我们可以确定太阳风强度的上限（至少是观测到的上限），并且能够证明，只要对舱内的设备重新作些安排，阿波罗指令舱就能提供足够的屏蔽厚度，使舱里面的人能承受住整个周期的太阳风，不致受到过量的辐射。

登月舱却存在另一个问题，它要用薄而轻的材料制造，从而不能保护宇航员在月球表面上不受太

阳的辐射（宇航服实际上也起不了防护作用）。我们测定究竟要在登月舱上加多少铅屏障才能提供必要的防护。但我们发现这对发射火箭来说是太重了。最后的做法是，我们利用了太阳风逐渐增强这一性质，虽然辐射可以变得很强，但只有在微粒流中暴露几个小时后才会造成大的损害。因此，问题就变成了探测太阳风何时开始出现。所以我们研制了一种能测定辐射增长的传感器网络安装在指令舱上；我们这样修改了飞行任务计划：假如宇航员在月球上步行期间，辐射以一定的速率增强，那么宇航员就要进入登月舱，并离开那里，返回指令舱中，放弃剩下的登月任务。这是一种间接的解决办法，但它表明我们已经理解了这个问题并有了一个处理它的计划——这是最初的各种考虑。

8-3 流星的危害

另一些问题与流星有关。哈佛—斯密森的贝克—农照相机曾经每天都记录着上千次在地球大气层中出现的流星体闪光。如果我们根据这些记录推测宇宙空间流星体的密度，那么一艘环绕地球运行

一、两个星期的普通宇宙飞船将会受到流星体的轰击，可能遭到破坏或被摧毁。这份材料实在令人沮丧，然而我们从装有麦克风的小型人造卫星上却得到相反的论据。所有麦克风记录到的只是偶尔有砰砰声。在这个问题上究竟应该相信哪个，谁也不知道。最后，为了摆脱这个困境，我们研制了“飞马座”人造卫星。“飞马座”有高约10呎，长约60呎的巨大面板，当面板在空间展开时，就提供了足够大的面积来收集相当完备的粒子碰撞数的统计样品。面板上还装上了测量碰撞力的检测器。“飞马座”的三次飞行给我们提供了足够的数据，表明贝克—农照相机的记录对地球与月球间存在的粒子数量没有什么用处。除此之外，“飞马座”并没有记录到能有足够力量穿透指令舱的粒子。因此，我们完全有理由可以相信流星是不会成为问题的。

8-4 月球表面环境

在计划初期阶段，关于月球表面的情况，有相当多的推测。在我开始和美国总统科学顾问委员会会晤时，有一次该委员会成员科内尔的托马斯·戈

尔德告诉我说，他对月球表面的分析说明，月球表面上存在着所谓“仙宫”——高大的沙丘。由于静电引力而互相粘附着的、实际上不成团块的月球尘埃粒子所造成的沙丘，大概有100呎高。如果登月舱恰好降落在这样的沙丘顶上，那么它就会沉下去，被埋在100呎厚的月球尘埃下面，因而完全见不到光亮并且与地球失去通讯联系。这样我们就可能毫无办法。

显然，如果这一分析是正确的，那么我们就面临着一个严重的问题。因此，我们的任务是要确定上面的分析实际上有多大程度是正确的。美国国家航空和宇航局科学技术谘询委员会的查尔斯·汤斯，托马斯·戈尔德和我重新研究了月球表面的各种测量数据，包括早先对月球表面所作的雷达反射测量，红外测量和目测等。就整个来说，这些测量数据所描绘的月球表面特征是一幅极不协调的图画。

在汤斯的建议下，我们详细地作了几种频率的雷达地形显示图，测量了作为频率函数的月球表面特定区域的反射系数。这些图象表明尘埃层的厚度平均不会大于1至2cm。在研究了这种新的数据资料之后，我认为月球表面类似于冰碛物，不同的只是缺少水，它是由干燥的冰碛物所构成的。虽然那是大

胆的猜测，但结果倒十分正确。

但戈尔德还有别的担心。他认为尽管我们在尘埃层的厚度问题上可能是正确的，但我们仍然会遇到静电粘附的问题。这里，他指出了两个问题。第一个问题是：由于登月舱下降发动机的排气会使月球表面尘埃向上反冲，可能遮盖登月舱的窗口，甚至会使宇航员看不清地面。这是一个实际问题，因此我们在登月舱的底座上附加了探头，它将告诉宇航员：登月舱距月球表面已不到5呎，他们该关发动机了。第二个问题是宇航员在月球上行走时可能会遇到的：当他们步行时会把月球上的尘埃踢起来，尘埃粘附在他们的头盔上，从而挡住了他们的视线。这种可能性也是一个实际问题，我们打算寻找一种不沾静电的头盔材料，但我们未能找到一种既防止带电、而同时又满足所有其他要求的材料。结果，直到第一次着陆之后我们才知道，这种担心是不必要的。（这个例子如同其他例子一样，很难在地球上创造那种我们所能猜想的月球环境——因为这些环境实际上大多是想象出来的。）

8-5 阿波罗飞行设计

我们的系统工程的主要任务当然就是设计登月飞行本身。在飞行设计中，我们不得不陷入大量的权衡工作中，这些权衡牵涉到运载火箭和宇宙飞船的重量；不同重量对推力的要求；会合点和轨道的数目与定位；每种可供选择的飞行方案所需燃料的数量（以及燃料的重量）；经常还牵涉到费用问题。开头，有一种想法是用足够大的运载火箭直接飞往月球，并把另一个运载工具降落在月球表面上而没有任何会合点。提出来的这种火箭称为NOVA，大约有“土星Ⅴ号”的两倍大，在人们认识到为了制造它，我们必须先制造一支“土星I号”，然后制造一个更大的“土星”，最后才能制造NOVA时，它的设计已快完了。制造这些运载火箭所花费用远远超过我们整个计划所作的预算200亿美元。上述因素导致了NOVA的结束，无交会点设计也因此而告终。除了费用以外，我们发现对于NOVA还提出了另外两个问题，这是在选择运载火箭时必须考虑的：运载火箭产生的噪音大小

和它的爆炸当量。我们发现NOVA这样大小的运载工具在发射时产生的噪音足以在肯尼迪角周围地区造成严重的危害，而它作用于发射台上的爆炸当量相当于1000万磅到1500万磅的黄色炸药，大约等于投在广岛的原子弹爆炸力的1/3，这是难以对付的。

我们有几种会合方案，每种方案都有一群拥护者。有一群人倾向于地球轨道会合；另一群人则倾向于月球轨道会合。还有人说，我们应该在地球轨道上会合，再配备一艘宇宙飞船飞往月球，进入月球轨道后，再让第三个飞行器飞抵月球表面，因为这样所需要的火箭燃料数量最少，所以是最有效的设计。但还有一群人说，双重会合的飞行任务实在太复杂，替代的办法是同时发射两个或三个飞行器，在去月球的路上交会并添加燃料，不用月球轨道而直接着陆。当然这意味着要在登月飞船上携带足够的燃料，使它能直接从月面上发射返回地球。这个建议指出了根本问题：虽然所提的各种供选择方案都是可行的，运载火箭究竟应该多大。

由于种种原因，我们决定采取一次交会点的飞行方式。决定了这一点以后，经典力学告诉我们，应该在月球轨道上合会。接下来，我们应选择最小的能执行月球轨道一次会合飞行任务的运载火箭，

那就是“土星Ⅳ号”（即有4台J-2发动机的“土星”火箭）。但是维勒·冯·布劳恩提出“土星Ⅳ号”设计在发动机组中心留下的空间可以用第五台发动机填满它。由此可见，系统工程是一门精密的科学，我们决定采用“土星Ⅴ号”。

8-6 试验“土星Ⅴ号”

“土星Ⅴ号”的第一次（Ⅴ—01）发射是不载人的，但是为载人飞行而设计的飞船首次发射试验采用飞船本身来进行，它具有执行全部飞行任务的结构，包括一个处于工作状态的指令舱，这还是第一次。许多人对这样一种做法在经济上所冒的风险感到担心（尤其是我自己，因为我曾经主张这是做得对的）。不过这次飞行很完美，看起来好象我们现在就要出发到月球上去似的。然而我们曾经规定在正式执行飞行任务之前必须做两次成功的试飞，所以我们又发射了Ⅴ-02。进行两次试飞是一项很好的规定，因为Ⅴ-02实际上从一开始就出了毛病。第一级出现不正常现象，当我们查看各种记录时，我们看到径向振动产生的力几乎达到重力的八倍。事

先没有料到会出现这种情形，因为没有根据那种应力来设计火箭，我们担心火箭是否能经受得住。但它却经受住了，可能是由于设计时安全系数取了两倍左右的缘故。

第二级点燃并正常工作到飞行开始后的第80秒，这时有一台发动机突然熄火，紧接着第二台发动机也熄火了。记录表明飞船尾部的温度急剧升高，这说明那里不正常地起火了。其余三台发动机在剩下的时间里继续工作并按时关闭，然后，第三级点燃；我们感到虽然发生了某种事故，但至少飞船没有爆炸。第三级在第一次点燃时工作良好——模仿真的月球飞行，它要点两次火——然后按时关闭掉。但到了第二次点火的时候，它却启动不了。记录表明它也起了火。我们真不知道哪里出了毛病。

在事后的记者招待会上，新闻界清楚地意识到我们出了问题，因为指令舱降落地点偏离目标达数千哩。记者们认为那次飞行是一场巨大的灾难，并且询问我们现在打算怎么办。在回答他们的问题时，我说，我不知道那是不是一场灾难，我们可以学到许多东西，使我们更有信心把计划执行下去。许多人并不赞同我这种解释，同我所说的任何其他事情相

比，更多的报纸评论是关于我那种满不在乎的态度。但我相信，后来的事实也证明了，我们会从这次飞行中学到许多东西，应当把计划进行下去。

我们确已继续进行，但在作出这个决策之前却经历了一场我从未见过的最有趣的技术侦察插曲。在第一级中引起纵向振动的原因是在于供氧管线上发生的振动——泵头压力和管线谐振长度之间的耦合振动，管线谐振长度是由这一级中的液氧面调节的。当液氧面下降时，它导致该级进入共振频率，从而发生振动，幸亏，在发动机振散之前振动就停息了。

对这个问题进行了一段时间的研究之后，我们发现，当把一股气流吹进该级的截止阀顶部时会造成一个小气室，它能抑制供氧管线的振动。因此，除了接一条气路通到阀顶之外，不用作任何其他改变我们就解决了振动问题。然而，在这过程中，我们建立了关于液体燃料流动力学、泵压灵敏度及其它几种现象的数学模型，这是迄今为止最成熟的数学模型之一。幸亏我们有了这样一个开端，因为“大力神Ⅱ号”运载火箭也出现过类似的问题。虽然“大力神Ⅱ号”的问题是用别的方法解决的，但由于已经有了建立模型的技术，所以我们只须简单

地把这项技术接过来推广应用就行了。我们学会的——其实从一开始就应这样要求的——一件事是，为了不致把振荡放大，每台发动机的输出推力应当不受供给泵进口处压力的影响。(为了达到这个目的，有一个办法是加入一个灵敏的反馈线路，因而使泵阀受推力的控制。跟试图调节所有的供给管线以避免共振的方法相比，用这个方法解决问题似乎更直接了当、更为实际。)当我们消除了发动机引起的放大作用，也就不再有纵向振动问题了，因为整个运载火箭不再象一个不稳定的反馈系统那样运行了。

第二级发动机和第三级发动机的问题全然不同。我们在地面上，在种种不同的条件下，包括在真空舱室里，试验过这些发动机，但我们不能精确地仿造宇宙空间的条件。尤其是我们达不到完全真空的条件。结果，当液态氢通过从发动机起动器用的旁路管线引出的一组波纹管时，这些长约3吋，直径约0.5吋的波纹管上覆盖了一层冰霜。冰霜阻止了波纹管的振动。在地面上，我们始终没有意识到这个问题。然而，在宇宙空间，由于形成不了冰霜来阻止振动，它们就被振坏了，因为每隔二根或三根波纹管，该管路就会同流经它的液体发生共振。

后来，当我们能将波纹管放在高真空中时，我们就模拟到了故障。很明显，必须去掉波纹管，我们也这样做了。从而解决了那些发动机的问题。

8-7阿波罗的可靠性

确保运载火箭和宇宙飞船的可靠性，当然是一件至关重要的事情，然而其中有一个问题很少有人赞同，这是毫不奇怪的。带有阿波罗宇宙飞船和发射支座设备的“土星V号”约有1500万零部件。假如所有这些零部件都必须保证飞行任务获得成功，那么，每一个零部件都必须有极高的可靠性。甚至每个零部件的可靠性数字达0.9999999也不能保证飞行任务获得成功。我们采用常规的方法，象单点失效分析法和关键路线分析法，一个零件一个零件地计算，结果算得登月着陆获得成功的概率大约为0.5。根据这样的计算结果，每飞行两次就有一次失败，这显然不够好。

所以我们回过头来重新开始，运用我们知道的所有技术来改进一个个零件的可靠性。我们引进了“零—故障”概念，并且设法使参加计划的每一个

人都确实懂得：从一开始就做好每一件事是多么地重要。当时，在为“土星IB号”的第一次载人飞行而作的试验过程中，J-2发动机在起飞前的准备试验中失灵。当我们把它拆开来后，才发现有人在发动机内遗留了一个防尘帽，它阻止了阀门的打开。这件事既不能增加我们对“零—故障”程序的把握，也不能提高我们对设计的可靠性程度的信心。

因此，在规划“阿波罗Ⅶ号”的飞行中，我们增加了一项新技术。我们鉴别出飞行任务的关键事件，于是询问了参加这一程序的两个人，这两个人对每件事都是经验最丰富的，让他们估计成功地完成这件事的概率。于是，我们得出飞行任务获得成功的概率为0.9，而毁灭性失败的概率小于0.01，这可能是我们对飞行任务实际成功概率所作的最好的判断。在我看来，这个分析虽然纯粹是主观的，但却是建立在大量经验的基础上的。这是对阿波罗计划所包含的实际风险的合理的估计。至少，迄今为止的经验已经证实了它的正确性。我想，由这件事引出的教训是：正确地运用人类的判断，有时比统计学还要好些。

8-8阿波罗火灾

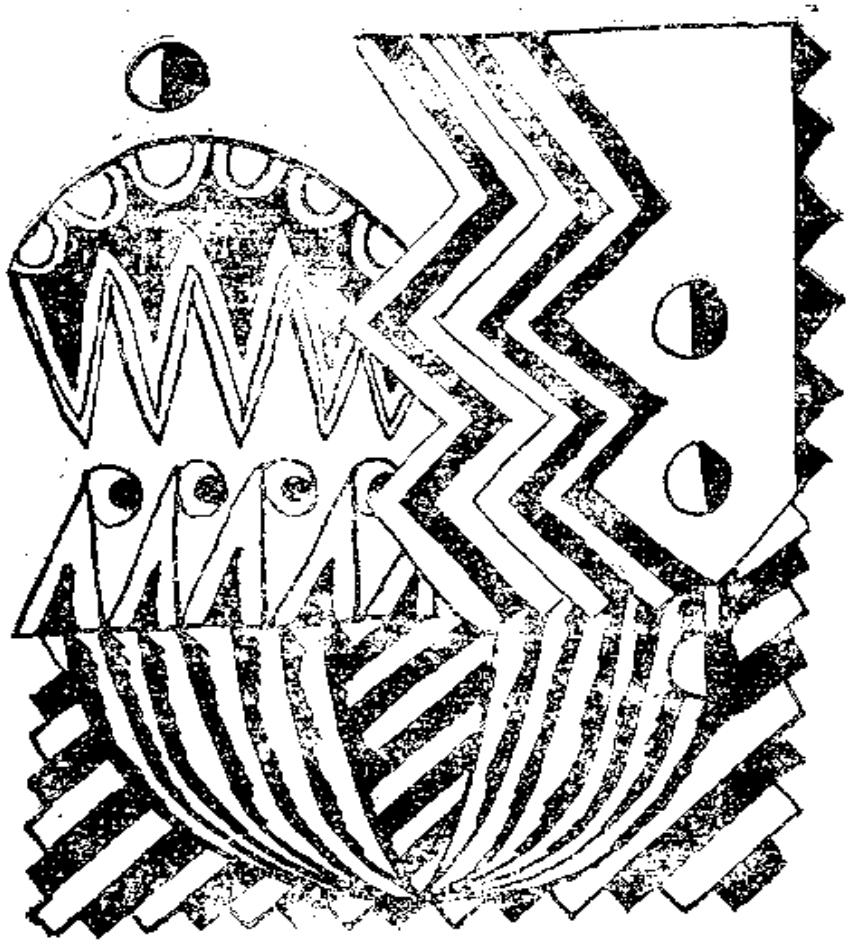
但是，有时无论统计学还是人类的判断，或者甚至两者的结合，都不是完美无缺的。阿波罗发生的严重火灾给我们敲起了警钟。我们已经仔细地建立起我们认为是正确的在宇宙飞船中所使用的材料标准。我们用了各种材料的样品进行着火试验，并且建立起发生火灾时应当采取的措施。在盖米尼程序中，曾经发生过几次短路，有的东西着了火，但迅速被扑灭了，所以我们觉得已经知道对付这个问题了。但我们却没有意识到——这是人类判断的一次失败——需要对所有材料组装后的座舱作整体试验，这个试验只须简单地划一根火柴点燃它，看看将会出现什么事情就行了。若是我们做过这样的试验，我们定会发现在含有易燃材料的指令舱那么大的密闭室里，一旦起火，四壁反射的热会使氧压突然增加，反过来又加速燃烧过程，使它突然燃烧起来，用掉全部的氧，然后熄灭——全过程总共不到60秒钟。这就是所发生的事情；事实上，实际烧掉的可燃材料相对来说是很少的。

灾难对个人，政治和哲学上所造成的后果严重影响到我们每个人的情绪。从技术上来说，虽然我们学到了许多设计防火物品的知识，但这种学习付出的代价实在太大。我们所学到的最基本的教训也许是：着火的根源不可能完全避免，所以整个设计对此必须加以补偿。因此有必要对整体模型进行全面的试验——这种要求适用于一座住宅，或一辆汽车，同样适用于阿波罗指令舱。

8-9 未　来

下一次美国空间计划的主要开发目标——实际上，美国任何一次未来空间计划也都取决于它的开发——是以可复用性概念为根据的航天飞机。航天飞机（就象火箭一样）将垂直发射进入轨道，卸掉负载后，再回到地面发射台，准备再次进行发射。虽然航天飞机概念已形成很久，但是直到最近实现它所需要的技术才成熟起来。许多人都认识到可复用性概念的价值，但加利福尼亚理工学院的弗朗西施·克劳赛尔提出的论据最出色：跟过去每次发射都扔掉价值1亿美元的设备的作法相比，重复使用

是一项相当重要的改进。他得出结论：可复用的飞行器将使宇宙飞行的费用降低到原来的百分之一到千分之一。这项改进的结果之一是使费用如此之低，以致我能期望有这么一天我自己就能作宇宙旅行。我想在我们提倡可复用性概念时，克劳赛尔和我都有这种期望。



第九章

规划—计划—预算系统

H·罗 温*

*亨利 S·罗温（HENRY S· ROWEN） 斯坦福大学商业研究生院公共管理学教授。

在一个看来理性似乎已经过时的时代，要论述制订决策的合理方法，我感到多少有点拘谨。另一方面，我又受到这样的认识的鼓励：目前对于制订决策确实还没有一种好方法可以取代诸如系统方法那样的东西，而这恰好是我的论题。

规划、计划、预算——这几个词并不闪耀夺目。但如果要使政府部门以及私营部门都不以偶然的方式采取行动的话，那就应当以某种方式来决定究竟需要做什么，选取哪一种行动，怎样实现所作的决策。当然，这是政治活动所要求的。但无论是搞得糟糕的还是搞得很好的国家都一样。有许多需要谈的东西。

9-1 以保健立法为例

让我给你们举个例子。经过各种团体的多年努力，1965年美国国会通过了被称为医疗照顾法和医疗补助法的保健立法。这两项法案是分别为老人和穷人提供健康服务而设置的。当时支持这项立法的论据究竟是什么性质的呢？论据的一个方面涉及到我们人口中这样两部分人的健康状态。穷人的发病率和死亡率，包括高得惊人的婴儿死亡率，都比收入高的阶层大得多。老年人的健康问题就更不必说了。论据的另一方面涉及到这些人群享受医疗服务的机会（这是和他们的健康状况完全不同的问题）。一般说来，他们得到服务的机会很少，并且因人因地很不相同。再者，可以看出，健康危机可能会耗尽这群人或那群人的财力和物力。

但是这项立法实际上要达到什么目的呢？事情就不明确了。根据不充分的材料作出的预测似乎表明这些人享受的医疗服务会增加，还估算了联邦预算的支出和为受益者们省下的钱。（顺便提一句，我怀疑是否估计了无形的受益者——全国医生的经济收益。）至于给那些需要的人提供额外照顾

的问题虽然有所考虑，但考虑得太少了。

这就是所发生的事情。有需要，但得不到供给。在我们的居民中，医生给病人出诊的次数，在整个六十年代里，实际上是减少了；按人口计算的医院门诊次数，立法后以立法前同样的速度增长。更为重要的是，很少有人注意对医院的补助方法；医院可以因为它们的开支而得到补偿却不管它们的医疗工作做得怎样。结果，立法通过之后的几年中，保健费开支在急剧增加。现在联邦年度预算费用比六十年代中期预计的数字高一倍多。根据就医和住院天数的资料来判断，某些预期的人们确实已经得到特别照顾。但因为总的服务增加得很少，所以肯定有些人没有得到服务。失去医疗服务机会的不是那些富有者，而是那些经济状况刚好在医疗补助线以上，近乎贫困的人。至于谁得到津贴的问题就更加复杂了。（应该指出，按某些提倡者的意思，这项立法的主要目的不在改善受益者的健康，而是在政治上以可行的方式变相增加他们的收入。）但对医生的收入又将起什么作用呢？如果美国医学联合会曾想到会有这种结果，它就不会那样反对社会化的医疗了。实际上，美国医学联合会现在正为它自己的全国健康保险计划而四处游说。

迄今为止，效果并不太坏，是否如此呢？肯定错过了一些机会：如尼克松政府所作，利用这次立法来促进新型保健制度的发展的机会，试图用多种方式来资助保健事业的机会，除了根据“合理适度”或“通常惯例”的原则外，给予医疗服务人员以各种补贴的机会。如果在全国受到一种单一办法的约束之前有一段时间的审查和试验的话，许多事情本来可以做得更好些。在政治上的压力和要求行动的情况，这看来似乎是非常不切实际的。但依我看来，除非我们仔细考虑我们所要做的事情或我们将要承担的后果，我们就会从一个制订和执行得很糟的计划转到另一个同样的计划。这一警告适用于我们的福利制度的改革，战略核打击力量的设计，自动发射标准的建立，以及其它许多活动。我不是说我们美国在这些计划或其它计划方面什么也没有做。近来，对各种计划的分析是比以前多了，但是，联系到政府所采取的行动，是不够的和不充分的。

9-2 改进政府决策制订工作的必要性

改进政府决策制订工作的需要怎么说也不夸大

其间。一年一度洛杉矶市议会要审查下一财政年度的预算。如果这一年度的预算和上一年度的相似，那么其结果是（a）开支更大，（b）没有说明要用这笔预算来完成哪些具体的公共目标，（c）没有搞成能使议员们可以看出进入新的一年后收益和支出在什么地方从什么范围来看是更大了或更小了。在这些方面，洛杉矶的立法机构跟其他城市相比并不更糟，也许还要好一些。这不单单是立法机构的问题。一般说来，行政机构也不见得更好一些。他们对他们自己现在的活动了解得很多，但是对他们的活动跟政府其他部门的活动之间的关系，或跟更广泛的公共利益之间的关系，既可能不去详细了解，也可能受到本部门狭隘目标的支配而不去了解。

9-3 制订系统决策中的障碍

可是，在制订公共部门的系统决策时还存在着几种障碍：

第一个问题是：经常有积欠的旧债。在任何一个年度里，一个机构的预算可自行支配的部分总是

很少的。因为上一年度的决策已经挪用了目前能利用的大部分资源。虽然文职人员常常从长远观点看问题，可是政治家通常并非如此。从特征上看，政治家追求一种高的时间贴现率。他们的这种倾向加上在任何时候预算中可自行支配的这一小部分，就往往使他们在远未充分摸清完成这些计划之前还需要些什么以及在尚无完成这些计划的有效约定之前就开始执行计划。

在宣布新计划时“引起一时轰动”的诱惑力往往很大。除此之外，发起人大概不会来关心计划执行的结果究竟如何。我倒不是说这种做法是故意的，他们往往是出于无心。这种倾向由于制订、执行大型公共计划和我们的选举周期的频率之间配合不当而有所增加。计划也许要用十年或更长的时间来制订、检验、执行和“调整”，但选举似乎是屡见不鲜。我们需要有经常改变各级政府机关的机会，但我们为频繁的选举付出的代价太高了。这种代价是巨大的，而且对这样一种安排产生的已经开始但尚未完成的工作以及将远景提前实施所需的费用严重估计不足。

这种形势同削减过时的计划有密切的关系。这些计划在开始制订时也许是有意义的，但时间一

长，也就失去了它们的价值却又扔不掉。一些资助农业的计划就是典型的例子。在若干这种计划中，估计每年向每个领受者提供的津贴超过100,000美元。只要有一定职业的人们答应在别的领域内工作，他们就可以得到一笔相当可观的津贴。我们的海上津贴计划提供了另一个足以说明问题的事例。

第三个难题是许多公共课题和计划很难估价。诚然，次优化往往能够深深打动我们而没有太多的不舒服。但另一方面，我们社会的最高级课题——在国家目标的标题下经常讨论的那些课题——则完全超出了我们的形式分析的能力，学龄前教育计划，职业训练计划，航天飞机等等属于重要的中级研究课题，对这些重大课题倒真正渴望能进行有重要意义的分析。但也并非轻而易举，我们的理论和测量方法往往都不适应。

第四，负责机构往往不怎么鼓励应用分析方法，即使这些方法是有效的也罢。仅仅是因为分析所得结果可能对该机构或它的计划没有什么好处。

第五，不是刚好在一个利害一致的整体内，而是要涉及到不同的团体和个人去估计投资和效益是一件复杂的事情。从总体上估价并不是十分令人

满意的——也许很难，而且还要了解谁赚了谁亏了。之所以会这样，部分是因为全国的目标是从政治活动中产生出来的而不是假定的；而且，还由于目的和手段，一般来说都不是彼此无关的。采取怎样的手段和所服务的目的是同样重要的。

最后一个障碍是管理人员不能恪守诺言。经常的情况是当实际效果没有达到预期的效果时，很少有人注意。当然，为使自己摆脱这种困境，一种方法是首先不作很具体的允诺或预言——这就是人们坚持要求这样做的一个很好的理由。

在制订系统决策的过程中，存在着这六种障碍，所以我们的工作做得很差也就不足为奇了。

四年前，我曾写过下面一段话，看来似乎仍然有用：

在所有这些领域中，问题与其说是缺乏知识，倒不如说缺乏与政策有关联的知识；与其说缺乏技术，倒不如说是缺乏分析政策问题的技术；与其说是缺乏技能，倒不如说是缺乏在一起解决这些问题的有熟练技能的人员。我们应该寻求的是：利用我们处理社会的知识，加深我们的分析方法以及用构造和解决复杂政策问题的方法来培育人才。

这些问题的领域，就大部分来说，都同联邦各

级政府有关。但他们缺少有效地解决这些问题的方法。在联邦政府一级，有少数几个部门对任何重大问题都具有分析的能力。但总的来看，他们缺乏精确地识别问题的能力，去检查有关资料是否收集，各种可供选择的政策方案是否确切说明。有效实验是否进行，现有计划是否评价。甚至最简单的事实，诸如找出在这个国家中究竟有多少体格健壮的男人受到福利照顾，一名高级官员都要花好几个月才能弄清楚。坦率地说，就连保健、教育、城市少数民族的职业和住宅等的确切数据也往往得不到。更复杂的问题，如“通过这些计划，真正要完成的是什么？”则很少深刻地提出过。

9-4 一种比较好的方法

规划、计划和预算程序是试图把工作做得更好些的一种方法。它的起源是多方面的。从工程方面来说，它是通过设计复杂系统而产生的；从经济学来说，它是通过发展投资——效益分析技术而来的；从公共行政事务和商业来说，它是通过制订计划预算发展而来的。六十年代初开始，规划——计

划——预算程序在美国国防部受到很大的重视，并在1965年为约翰逊政府普遍采纳。

它的主要内容是：

对目标作仔细说明和系统分析。

寻找合适的可供选择方案与达到目标的不同方式。

估计每一种可供选择方案的总投资——包括直接投资和间接投资；初期费用和将来该方案要我们支付的费用，以货币计算的费用和不能以货币形式衡量的费用。

估计每种可供选择方案的效益，对各种不同目标满足到何种程度。

对比分析各种可供选择方案，为了在有限的资源下达到目标，寻找可望获得最大效能的组合方案。

9 5 规划—计划—预算系统（PPBS）的组成部分

我所熟知的、最新文本的联邦政府PPBS的组成部分在技术上包括：（1）计划结构，它根据目标或共同产出来表示每个机构的物质活动和财政活

动；（2）课题表，它总结各机构和管理预算处在每个规划和预算周期中需要分析和估价的主要政策课题目录，以及反映这些课题深入分析的专门分析研究；（3）计划备忘录，它登记机构对可供选择方案所作的选择，以及总结有关影响决策的分析；（4）计划和财政计划，它显示前两年和后五年由计划安排以及过去承担义务所得到的财政收入和物质产出的数据资料。

9-6 运用PPBS的效果怎样？

那么，运用PPBS的效果怎么样呢？总的来说并不好。我在前面说过要制订满意的决策存在着种种障碍，阻碍了我们成功地运用PPBS。

例如，要办事机构提供严肃认真的计划和财政计划就是个问题。如果总统要求他们准备计划而没有给他们以财政约束，那么得到的回复是一些他们想要做的工作的计划目录，而做这些事所需费用常常有可能大大超过可花的钱数。这样的计划没有多大用处。如果总统给他们提出一个比较行得通的钱数作为约束条件，这就可能给制订计划的机构和国

会中的支持者带来麻烦。因此，他也许不想采取看来对他似乎是不必要的斗争。

在进行对各种要执行的问题的分析时，已经取得了较多的成就。曾经做过一些极好的分析工作，但其结果往往令人很不满意，有时因为时间紧张，有时因为缺乏能人；而经常是由于我们的知识水平有限，要稍微深入一些分析问题就完全无法胜任。有个问题，我在前面已经把它作为一般的障碍而谈到过，就是许多国内计划，大部分是由联邦政府机构筹措资金，而由地方政府来实施。其实联邦政府各机构由于不对执行计划的情况负责，不直接过问这些计划的执行结果，也必然没有强烈的要求要弄清楚该作什么和不该作什么。不过地方政府倒有一种微弱的要求想弄清该作什么，因为多数或大多数费用都是由联邦政府支付的。如果接受收入的地方政府要按照它们的实际情况来分享岁入的话，那么这就是一个岁入分享的论据。

由于这些原因，尼克松政府可能不再继续使用目前形式的PPBS系统。也不应该继续下去了。很可能应该进一步强调问题的分析。同时还要保留某几种计划预算，举例来说，可以表示由联邦政府各部门的总金额中提取多少保健费用的计划预算。然

而，它可能不再继续要求计划和财政计划的进展或例行的计划备忘录。

9-7 过程的评论

我在开头就说过，这个课题在今天并不十分流行。最近在《农村之声》上刊登了一篇有趣的关于纽约市—兰德研究所的工作的文章。这是兰德公司同纽约市联合建立的研究城市问题的研究所。这不是一篇捧场的文章。对我们的城市工作和城市服务（诸如住宅、取暖、保健和教养）的效率问题提出了许多批评。作者声称现在的做法是错误的，因为整个系统是坏的，必须加以改变。另一方面，他又没有提出一个如何改造城市或把城市变成什么样的提案。我对他的观点有点儿同情。各种基本问题需要引起更多的注意，这是显而易见的。然而，使各种事物的功能还能凑合过得去也很重要。而它们往往没有做到。

作者对许多工作没有充分倾听公众的评论和批评就去做这一点，也提出了批评。这里，他是站在评论员的立场上发表议论。要想采纳更好的公共政

策，必不可少的因素是必须通过公开评论和公开批评的过程。但各级政府部门往往抵制这样做。

这种批评同政治过程的本质有关并在这一过程中起着政策分析的作用。公共政策过程最好的描述模型是林德布洛姆的同人相互磋商的模型。他是这样来描述这一过程的，把我们社会中制订公共决策的过程视作具有各自目标的不同人群为达到一定的目的而进入政治市场上去的过程。通过这些利害相关、矛盾交错的人群的相互磋商，达成协议，产生决策。这种观点的中心思想就是我前面说过的，手段不能同目的截然分开。它们强烈地互相作用，大体上说，人们对抽象的目的往往没有兴趣，但他们对具体的、“真正”有利的事一定去做。这就是事情如何进行的一个极好的描述，并且它有着很典型的含义。

9-8 系统分析和政治过程

怎样才能使系统分析适合于政治过程的这种观点呢？长期以来我一直提倡在政府执行机构的各分支中、在立法机构中，以及在政府部门之外，创建

多种多样的分析小组，它们对国家面临的许多主要公共政策问题都能从不同的角度提出意见。这是极其重要的，因为只有通过评论和批评的过程才能提

9-9 未　来

最后，在把系统分析用于解决公共政策问题的过程中，今后我们应该怎么办呢？

在分析过程中，除了要有更多的人参加以外，我们还需要做更多的分析工作。因为许多重要问题至今仍然没有得到研究。

其次，需要更加强调获取经验数据。无论是武器发展方面，还是选择保健系统方面，或改变现有福利系统方面，在承担大型计划之前就需要进行更多的实验和运转试验。

再者，分析的范围需要扩大。加利福尼亚理工学院物理学教授墨雷·格尔曼说，我们应该寻找各种方法来把无形的东西，如漂亮、对环境的影响以及其他的价值等等更加直接地归入我们的分析。我想这方面有许多工作可做。很清楚，这里我们并不打算把所有的价值都象在各项研究中用货币来表示收益和费用那样还原成单一的参数。在这些分析中，如果效益与费用的比值大于1（使用适当的贴现率——本身就是一个尴尬的问题），那么，计划

就应该付诸实施；否则，就不应该执行。经常用于公共工程计划中的这种方法，有时还包括所谓的“二次”收益（这些收益大多不具体，但其数目是可以设想的），往往为了使收益——费用的比值超过1，所以计划必须采取继续前进的决策。虽然，用货币关系衡量费用和收益有它的用处，但一般说来，目标函数不应该用单值关系来表示。也不是所有有关花费都必定用金钱表示。通常一个系统总有多种目标，而且考虑选择的方案不同亦将提供不同的报偿组合。尽管选择只能主观地作出决定，不过有了这种方法可以更有条理地进行。

另一种研究，可能通过广为采用的投票方式或通过探索能得出人们各种偏爱的模拟技术，更多地建立起各种目标的排列顺序。我并不主张天真地试图从那些对有关问题毫不清楚并且从真正意义上说还不知道他们自己的爱好的人那里得出选择。我们不是要超越我们可能面临的各种选择之外，坚持全面地、完善地制定价值的优先选择。但是有很多方法把各种有关选择的机会披露在人们的面前，然后，从中得到某些有用的反馈。

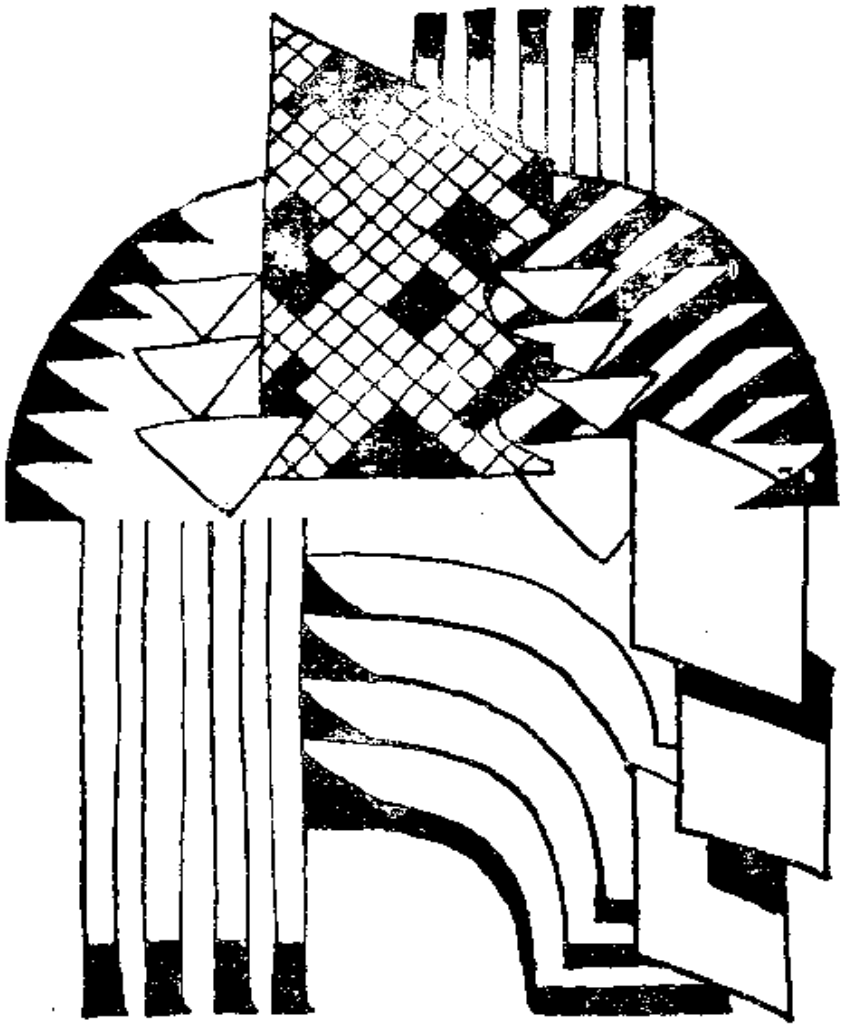
还有一点更值得注意的是组织上的鼓励。组织往往有植根很深的任务，在这些组织中人们用与他

们的身份相适应的方式行动。这是一种强大的力量，是在传统的系统分析中被忽略了的强大动力。不是每个人都忽略了组织问题，尼克松政府就象他们在改组政府结构的提案中所表明的那样，对这个问题投入了许多精力。

最后，我要强调，要象对待发明，也就是象对待一个设计问题那样来对待整个课题的效用。许多这类问题，如果从静止的观点来看，则显得确实是难以处理的。在一个有派性的互相校准的过程中，从某些互相不可比较的方案中作选择也足以使人举手赞成；就象某些人做过的那样。但是无论是技术上的新发明，还是社会上的新发明总还是能够有所改变。这些发明引进一组新的、也许是有用的可供选择方案，但不一定提供完备的答案，因为新发明产生了新问题，但它是在改善并解决旧问题的过程中产生出来的。

总之，我打算提出一个经过合理平衡过的观点。你们怎样考虑它，取决于各自的偏爱。如果系统分析的力量给你留下了深刻的印象，那么，这样解说倒可能使你感到沮丧。如果你的看法认为分析家们的思想影响太大，那么记住，他们的影响是很有限的。不管你的看法怎样，这个主题还是基本的

东西，毫无疑问它在理论上和实践上有待改进的地方是很多的。



第十章

社会系统中的系统概念

R·博古斯劳*

*罗伯特·博古斯劳（ROBERT·BOGUSLAW）
华盛顿大学社会学系社会学教授。

我想就工程师职业的目前状况作些考察，并把这些考察与社会系统中的一些问题联系起来。我认为仅仅讨论这些问题中的某个问题而不讨论其他问题是没有意义的。

10-1 工程师职业

在美国历史上这样一个特定的时刻，这个国家的工程师职业在它自己的环境中，显然正面临着相当显著的变化。展望前途，甚至那些训练有素、相当有才能的专业人员也面临着普遍失业的威胁。这对大多数工程师来说还是生平第一遭，而对工科学生来说，肯定是生平第一回。

这个明显的危机会持续多久，甚至它到底是“真”危机抑或根本没有危机，都不是我想在这里讨论的内容。此刻，我不谈这个职业中雇佣曲线的性质这个经济课题。然而，我想指出，失业的前景或者对可能失业的信念，和实际失业的事实一样，对于从事这种知识性专门职业的人的态度、价值和行为也能产生有益的影响，反过来，这些东西对社会系统设计的概念也会有重要的意义。

例如，只要繁荣的气泡还在膨胀，上升运动是工程职业确定无疑的特征。那么，有雄心壮志的职员，他们的眼睛就总是盯着职业阶梯的顶端。如果他们的眼光放得足够高，最终就会看到某种称为“管理”的东西——因为这是本世纪中期美国人给职业金字塔塔顶取的名字。但当繁荣的气泡破裂时，则各级管理人员加入失业队伍的速度甚至比技术部门的核心成员更为迅速。在这样的情形下，对于许多在职的工程管理人员也会和学生连同已决定当技术人员的人们，就可能被要求在他的事业的余年从事技术工作——如果职位可以继续得到的话。

但是这很可能潜在地给在职成员的价值结构和在职成员的态度带来急剧变化。如果你不再用管理来鉴别，那么你用什么来鉴别呢？在这新的职业阶

梯上，究竟那条路才是“向上”的呢？下面这样一些想法就产生了：期望现存的雇佣地位能使他们获得那些社会愿意花钱的新职务，这现实吗？进一步说，如果恢复原状的想法是不现实的，那么是否还存在可供选择的安排或者是否能创造出这样的安排来使工程师们能运用他们自己的才能和学问呢？如果我不能再在与世隔绝的宇航空间公司的围墙内从事我的职业，那末在地球上我可以做些什么工作呢？

这样一些问题无疑是围绕着工程师职业本身的性质和它本身在社会阶层中的地位特点而产生的。在日常学习和工作过程中对什么叫职业，人们得到的是多少有点被歪曲了的概念。实际上，作为一种职业的工程师其基本特征是什么呢？

对多数人来说，这似乎是指通晓某些专门化材料的特性以及关于如何通过使用某些已经成熟的方法或“技术”，用一些多少确定的方式能够重新分配这些材料的某些知识。在字典里，工程学是关心自然界中的物质性质和能源资源并试图使之用于人类的一门学科。

在这一定义的框架内，人类在非同寻常的位置上找到了他们自身存在的价值。一方面，他们是

“人”，正是为了人才把所有这些活动变成为有用的活动；另一方面，他们本身成了自然界中的一种能源，而在改造的过程中得到了利用。

每个人都记得古埃及的金字塔怎样几乎是独一无二地用人的能量堆砌起来的故事。有一种相当流行的看法认为象二十世纪的美国那样高度工业化的社会中，不再需要把人当作能源了。当然，这完全是不真实的。事实上，谋求一个工程师职业或其他职业，在极其真实的含义上说，就是出卖待售的能量储备以用于制定决策、传输和通讯活动之中。尽管在电子计算机化的系统领域中已经取得了奇迹般的进步，不过真正的无人系统在当代的情景下毕竟还是很罕见的，这样一种说法也许比较保险。

10-2 社会系统的定义

如果我们把社会系统看作是把人群体现为活动要素的系统，那末我们实际上是在谈论甚至直接包括“非社会系统”工程师那样一些人在内的范围巨大的系统。换句话说，如果为某些人服务或为社会目的服务所设计的系统都作为我们讨论的社会系

统，那么，根据定义，不加夸张地说我们是在讨论所有的工程系统。

简而言之，假如社会系统的特征仅仅限定为使用人的要素，那末我们肯定只停留在工程师最习惯的熟悉领域之中。如果我们把这一概念加以扩充，包括那些有很容易被人类组成部分代替的非人类组成部分的系统，那么，我们讨论的集合就更大得多。如果我们把考虑的程序倒过来，考查当前容易为计算机制导的非人要素所代替的人的因素，那么我们定义的概念就变得含糊不清了。当我们讨论社会系统和非社会系统的关系时，我们发现讨论的并不是从概念上能截然分开的两种现象，只不过是讨论在指定的点上最终是否用到人这个成份。

对系统中人的各种特征已经作过透彻的分析。作为系统组成部分的人类对输入进行种种变换产生各种输出，称之谓人类功能。这样，人类的功能首先是感觉功能，它表示物理机能上是否存在差别。第二是鉴别功能，为了达到对不同种类的输入作不同反应的目的而把不同输入的性质加以区别。第三种称为说明功能，这就是根据输入的效应而不是根据它们的外表把输入加以分类。

对于上述每一种不同的功能在各种不同的情况

下的运行都作了分析，为选择、装备和训练人员提供指导，目的是使他们达到必要的技术级别和一定的可靠性、准确性和耐久性。

一些作者在讨论那些主要包含人的被称为社会系统的各种构型时，把它定义为“在结构元素之中形成的一组模式关系，其中某一个元素的改变在其余单元中会引起调整的压力，或在其余部分引起其他形式的变化”。另一些作者告诉我们，社会系统如同其他类型的系统一样是一个整体，它“是各个部件的分化，各部件之间的相互依赖关系以及各部件之间联接关系的可预测性的结果。”

但分化概念，互相依赖概念以及各部分之间联接关系的可预测性概念当然就是在数量上占优势的非社会系统研究中早就为大家所熟悉的那种概念。而许多社会学家避免精确地使用“社会系统”这个名词，因为社会系统似乎暗示各种东西都在平稳地运行，只要人们不对旧的社会棚车的车轮作拙劣的修补，那么社会的各个齿轮相互啮合得就很好；它就将无限期地继续滚动下去。使用“社会系统”这个词似乎还表示系统中的每样东西都有一些“功能”，尽管这种功能也许是微弱的，间接的。当然，这还不是全部。社会系统中的许多特征表示对

先前一组条件所作的过了时的调节。其他特征单纯地只是各种事物，而个人、或者个人所组成的团体或组织已经设法把这些东西引入各种事物的系统之中，这是因为这种东西适合他们自己对物质商品或社会权力的私人需要——并不是社会为了生存需要这些东西。但是，使用社会系统这个名词似乎暗示着由于犯罪、战争、人类堕落的存在实际上是不可避免的，因为它们是在不断前进的社会系统中发现的。

而且，系统概念似乎也暗示着若是各种事物“更平稳地”运行，即如果消除了各种磨擦甚至是意见分歧，那么社会效能将会以某种方式得到提高。在生物机体中，我们总是欢迎变异。“变异万岁！”并不单纯是青春期性欲配偶的召唤；它体现着一种成长的哲学和科学，它断言，为了合乎所期望的需要的进化，最终为了增加人类的创造性，生物学上的变异性是必要的前提条件。但设计人员习惯于用流行的非社会硬件系统工作，而对变异性感到烦恼；他们把结构和性能中的变异性同不可靠性等同起来。因此他们把可变系统看作是拙劣地设计出来的不可靠系统，把它们的设计人员看作是头脑糊涂的、犯了错误的人。

10-3 社会系统和非社会系统之间的差别

我想着重说明一下，在我看来什么是社会系统和非社会系统之间的核心差别。这个差别，对我来说，不在于某一给定点上复杂系统中人的组成成分的有关比例。而且它也不是一个可靠性与不可靠性的问题。（人类组成部分，在条件改变的过程中，就固定不变的含义上说，是显然可靠、甚至是非常可靠的。事实上，我个人认为许多西方文明的中心问题可以精确地追索到现有居民在他们滤波装置和内部数据处理机构方面过分倾向于不可改变。）最终还是一个系统目标的定义问题，而在更深层的含义上说，则是目的、目标和价值的问题。究竟怎样看，完全取决于你认为什么东西最重要。

如果你一开始就专心注意，或者主要注意各种材料，注意为了某些给定的系统目的如何把这些材料装配起来，那么不管在你考虑的系统中所用的人类组成部分所占比例有多高，在我看来，你仍然是一位非社会系统的设计者。另一方面，假如你主要是与人发生关系，并把他们看作是特殊的自成一类

的，——正如万物都认为自己重要——如果你把他们看作是或多或少代表所有系统目标最终确定者的自生的、独立的实体——如果你是人类的种族中心主义者——那么，你就有点进入社会系统的设计活动了。

10-4 谁是系统的设计者？

让我们来进一步探讨一下社会系统和非社会系统中的这些差别的含义。非社会系统的特征是由设计人员和有关人员或一些处在系统之外的其他特殊人员提出系统目标。因此，非社会系统也许是设计一架飞行高度为海拔X千呎，航速为Y哩/小时，载重量为Z吨，等等的飞机。这些要求将变成各种形式化的系统目标。从这样的系统转化为社会系统，则系统的元素或组成部分可能希望用它们自己的特殊价值、需要或需求来确定各种系统目标。因为一组轮子要离开地面，我们就会突然涉及到设计飞机的问题——要不然，若轮子真的想要停留在地面上不动，岂不更加违反常情！

非社会系统的飞机设计人员会说："你在戏弄

人？”、“你以为我要坐在这里让一对轮子告诉我如何设计我的飞机吗？”令人遗憾的是这一答案还是有些对的。当然，关键在于如果它是一个社会系统，那么它就不能专指“我的”飞机。在许多情形下，可能必须根据最终可能是或者直接就是它的组成部分的说明来真正设计一个系统。设计人员的各种看法可能和各组成部分的看法根本不一样。那就必须有某些手段来调节它们彼此之间的关系。

如果你在设计一个教育系统，那么你就必须更充分地准备处理比学校主管、教育局、市长、甚至州长所提供的目标更多的东西。加利福尼亚人理应知道，一个教育系统是一件极其复杂的事务。学生们的目标往往同教师委员会的目标显著地不同；教师委员会的目标又往往在很大程度上不同于行政管理人员的目标；行政管理人员的目标也许又极不同于社会上各种成员的目标，等等。

在这些情形下，也许可以把系统设计人员的一项任务确定为实质上类似于工业生产中劳动仲裁人的任务——作出可以接受的折衷或协调；处理权力的现实性和前景；以及确定各方都可接受的即使不是完全满意的目标。当然，这项任务比正规指派给劳动仲裁人的工作要复杂得多。系统设计人员或许

永远也意识不到其目标与必须作出的设计决策有关系的那些人的范围有多大；这些人也许没有一个正式的组织形式能够代表他们发表意见，而与系统影响已经变得明显之后，也许又会组织起来。为了在不断前进的基础上预言并估计一个已知系统对各类未曾想到的群众的影响，必须发展各种各样的方法。为了这一目的而运用各种模拟实验室已经证明是非常有用的，但发展有用的社会系统模拟还包括目前在非社会系统设计中比较熟悉的类似风洞的技术中所没有考虑到的那些内容。社会系统模拟的各种目标经常被定义为探索可能的关联分析维数，而不是试验先前详细说明过的各种变量的影响。这里我应该特别强调的关键问题是：在设计和分析大量非社会系统中有用的各种技术几乎都绝对不能不加批判地转用于社会系统的工作之中。有无数这类实践结果的可怕例子。

以下几节为社会分析与非社会分析举例。

10-5 人类生命的价值

在应用规划-计划-预算技术的过程中，一个

人可以决定去研究机动车车祸问题，仿佛他就是中央政府的理所当然的决策制订者，他关心这问题是要使一定年度内的净税收最高。从这种获利的观点出发，可能要分析为减少事故而事先设计好的各种各样措施所需短期或长期的最大税收费用。在这样一种分析框架内，迟早会看到对某些防止事故发生的措施评价，并不是依照由它们可得到的税收利益来判断的。在进行分析的过程中，以金钱来衡量人的生命是必要的和合理的，民事法庭为了其他目的就经常那么做。确实，尤其是在与潜在的财政税收有关的场合把人的生命财政价值排除在外，将会在分析中造成严重的误差。除非把人命的价值限制在非常严格的参照系内，否则人命的价值不是一个常数。你也许把我的生命看作值钱不多或不值钱（尤其是如果我碰巧就是纳税很少或完全不纳税的人）。但对于我的母亲来说，我简直就是无价之宝。而对我自己来说，也许是同样贵重的（虽然贵重的定义可能因人而异）。假定我的皮肤比如说是黑的，那么在你的分析中，我也许并不值多少钱，这只是因为你没有给过我充分参与经济过程的机会。或许你拒绝给我参加为你生产大量所得税而必须获得的教育和训练的机会。而要是你对我的肤色

的不合理感情稍微改变一下价格，那就可能大大提高我的生命在你帐册上的价值。或者，你支出相对来说很少量的学费，也许能使我的潜力获得很大的提高。

但如果你继续沿着这些思路去想，我将继续对你很不满意。你有什么权力竟敢暗示，譬如说稍微降低一些X个其他人的生活标准或把他们的便利因素降低到1/Y来挽救我的生命，简直是不值得的呢？或许更准确地说，你凭借什么科学的或其他的权威根据来比较开支和收益，给我的生命指定一个价值？我已经向你解释过，我实际上是无价的。

10-6 降低福利费用和失业救济费用

用这种腔调，根据保险赔偿、商业亏损、财产损失等等计算出为城市骚乱所付出的总代价，就可以鲜明地阐述在我们的大城市中不适当的福利和就业计划所造成的后果。如果以严格的形式进行这种分析，或许还会导致推荐某种预防骚乱措施，诸如把抢杀某种类型的平民视作处理暴动问题的最经济手段。人们只是简单地局限于把诸如头发太长，衣

衫褴缕，或皮肤恰好深黑色等看作是高度危险的因素，而采取严惩措施。

10-7 减少犯罪

几年前“科学和技术”特别工作组在向总统的执法和司法行政委员会报告中提出了一系列减少犯罪的提案。这些提案包括范围广泛的值得研究和发展的建议，其中包含一些明确的令人羡慕的技术发明：代替现有手工系统的半自动指纹识别系统，新型报警系统，非致命武器，全国性审判罪犯机构的信息系统，以及许多其他项目。

在评论这篇由有高度才能的工程师和科学家们拟制的报告时，我对所选定问题之目光短浅感到吃惊。我问道：

究竟什么才是所有这种“科学和技术”将要应用的系统？无论如何，系统不仅应当包含警察和盗贼，至少必须包括把盗贼孤立出来的大多数居民。也可以产生另一种报告，提出坚持监视和控制警察活动以确保法律规定的公民自由权不受侵犯的问题。能为每个公民设计出什么样的自动报警系统来

保护他们自己免遭警察的不公平对待呢？在这些情形中，信息处理中心和控制系统，能怎样给予帮助以减少时间耽搁呢？人们真正能够把触犯禁令的犯罪问题与扰乱公共秩序问题和“白领阶层”犯罪问题区分开来吗？人们能够撇开雇用他们的社会环境而来严肃地考虑各种新的监督设备、报警设备和控制程序的提案吗？

要害是简单的：这个特别工作组的工作对象实际上并不是体现全体美国人民利益的美国总统。事实上，特别工作组的工作对象是肩负着一组与控制犯罪有关的特殊责任的美国司法部。这些责任从特殊的侧面打开了世界的眼界，使人们集中注意那些更广泛的社会系统中挑选出来的组成部分。在这一意义上说，特别工作组的技术人员与专业执法官员的系统目标变得一致了。这些目标是由指定的职责、对策和非常实在的执法问题所勾画出来的。不靠警察解决犯罪的问题不属执法官员的职权范围之内，不用警察解决犯罪问题主要着眼于装备研究，设计出用于警戒各种可疑分子的实况，或针对各种违反自然的、道德的、以及即将生效的法律的罪恶行径的装备。然而，所有这些也许已很充分地蕴含在它们的系统分析和所推荐的答案之中了。

10-8 战争的系统分析

作为最后一个例子，让我介绍一个与战争的系统分析有关的问题——对策论的应用。

热核战争是一种社会的可供选择的方案。这绝不是一个新问题。多年来，“防务知识分子”、军事人员、政治家以及其他许多人警告我们，我们应该有勇气对热核战争作一些“严格的”思考。用赫尔曼·康有代表性的话来说，就是我们必须去“想想那些不可思议的事”，因为，正如他所说的，“即使人们把热核战争看成是不可思议的事情，但这决不会使它成为不可能发生的事情。”

这句话的含义当然很清楚。我们应该摆脱弗洛伊德学说或其他阻碍思考各种不愉快论题的思想影响，而“合理地”考虑各种可供选择的方案。一般说来，这对探讨大多数人类问题都是一种健康的方法。但是，思维过程可能得到的结果，从理论上说，是由分析中所使用的假设的范围来确定的。

在热核战争的各种可供选择的方案中涉及到什么样的“系统”，而它的特点又是什么呢？

分析热核战争战略以及分析许多其他可以采用的战争方案的基本假设，也许可以陈述为："……在国际对抗的形势中，国家的安全首先应该追求最大限度的国家实力。因此，寻求安全基本上就是零和对策（一方收益，另一方就要损失），其中各个国家的目标就是增强自己的相对实力地位。"

在这样一种假设的框架之中，看起来似乎很有理由认为努力解决国家的安全问题就要包括采取各种象在对抗形势中动员全国的实力资源那样的行动。从一开始，系统就和我们称之为民族国家的某些内容有关。在这个系统定义中，隐含地承认武力是探索安全过程中合法的和必要的部分。

然而，这就根本违背了有教养的人所持有的某些关于恰当方式的观念。康和其他人都已经注意到，除了"正义的"革命战争（大概源出于美国独立战争，1775～1783）以外，美国人往往以为首先使用武力的人不是精神病患者、罪犯，就是疯子。按照这样一种流行的观点，这样发动战争的人应该属于歹徒之列，不杀掉他们就要医治他们。

但是康告诉我们，普通的美国人对武力的看法是有点儿天真的。武力在人类社会中是一项永恒的元素，好的、坏的、一般的国家和人们都可能使

用武力。即使我们可能是无理地或不道德地首先使用武力、强迫、暴力或威胁，但也完全有可能以合理的形式来使用这些东西。

简而言之，美国人似乎有两种令人遗憾的传统偏见：（1）不愿意首先使用武力，甚至是在有节制的水平上，为了有限的目标，也不愿意；（2）而一旦开始使用武力之后，就又以不加控制的方式为过度放肆地使用武力作过分的准备。

显然，我们需要的正是矫正这些倾向的方法。康告诉我们，人们如何用诡辩使武力逐步升级。文中，他分别对美国和苏联的情形作了分析，他的分析结果被称为“逐步升级阶梯”。

但这些阶梯放弃了国家安全的基本假定，即在国际对抗形势中，国家的安全首先应该追求使国家的实力达到最大限度。如果我们按它的表面价值看待这一假定，只要不是彻头彻尾的卖国贼，那么使用逐步升级阶梯的想法就极不合乎逻辑。单纯的常识似乎是说，“立即上升到最高一级并保证胜利。”最大的实力应在最高一级上寻求。而确切地说，这种论据只能为那些忧虑国家权力偶像的“爱国者”所利用。当然，象托马斯 C. 谢林所著的《对抗的战略》一书这种理论上的成规认为，直接升级到

达最高级阶梯只有在“纯粹对抗”的情况下才是合理的，即在对抗双方利益完全相反的一系列的情况下，直接升级才是合理的。

当然，着重对抗的战略假定在国际事务中对抗各国出现利益完全相反的形势即使有，也是很少见的。至于热核战争，我几乎不相信那样纯粹对抗的形势有可能出现。在任何事件中，采用国家实力达到最大限度的假定追求国家安全总是使用绝对的说法：使国家的实力达到最大限度。逐步升级阶梯是建立在更加相对得多的假定之上的。或许可以表示为：足够走到讨论中的那一级就是必要的实力。

逐步升级系统不是只包括美国作为一个民族国家在内的分析系统，而是包括美国在热核战争中最可能的敌人所组成的分析系统。我们感兴趣的不是敌人的全部实力，而是它在各种变化的条件下准备使用的那部分实力。在第一条假定的框架内，分析家的任务单纯地是寻找增加国家实力机会的道路。而工程的指导作用可以简单地叙述为：“给我以配件，我将生产出最巨大的战争机器。”

然而，在第二条假定的框架内，对工程师来说，做任何事情而没有详细的信息或思索，简直是不可能的。这种信息或思索是关于（1）潜在敌人

最可能使用的合理性的系统，（2）敌人的状态，不仅仅是它的力量情况，而且还包括它的“决心”，（3）用各种广泛的文化洞察力加以补充的“价值”结构。

所有这一切都使得与分析有关的系统更加广泛详尽，并且在许多方面更少定形。分析的特殊方面也许是要求考虑以前做梦也想不到的各种因素。这对分析具有各种重要含义，我不准备在这里继续讨论。对我们现在的论题来说，最重要的一点是系统定义中已经发生的变化。不管逐步升级阶梯概念的是非曲直如何，这种概念的利用就自动地隐含着它是与开始分析的系统所不同的另一个系统。现在我们是站在子系统或组成部分的利益上来看待所涉及的系统，并且再次给我们描述出狂妄的、但完全可信的、我们在前面已谈到过的幻想——根据飞机本身的一对轮子来设计一架飞机的幻想。

10-9 系统和环境

详细说明什么是“系统”，什么是“环境”，在设计各种类型的系统中有着巨大的意义，这一点

现在已经变得非常明显了。环境只不过是宇宙的一部分，这部分在任何特定的时间里，我们把它看成没有什么变化。各种各样的变化都在系统内发生。但在整个人类历史进程中，对什么是环境的看法，已经经历过不断的变更。当系统和环境的定义发生相当重大的变更时，那就是我们处在科学、技术或社会的“突破”或“革命”时期。按照庸俗的合理性的逻辑，科学革命或工艺技术革命是好的，而其他种类的革命，一般说都是“坏的”。技术革命或科学革命似乎意味着进步，而其他东西则被看作是颠复性的或邪恶的。自然，归根到底，科学技术纯然是社会行为的表现。科学技术遵循的发展方向，它们的服务目的，以及它们所达到的突破都是由引导它们的人类目标形成的。如果说迄今为止世界上的社会革命所证明的既不是突破，也不是什么恰当的设计，以迎接人道主义的全球社会系统的需要，那么，这些革命的失败，就是以往知识份子努力的失败，人类意志的失败和人类价值形成的失败。但是，他们在突破的概念上，或者在革命的概念上不是失败。

所以，一开始提出的简单明白的问题：“什么是环境，什么是系统？”用同样简单的言词表示，

它是一个不稳定的问题。根据某些或多或少明确的标准，已经开始在估价人类的状况、或者是个人的、一群人的、一个阶层的人的状况。我或者我们体验到的生活或者是“好的”，“一般的”，或者是“难以忍受的”等等。根据这种估价就会导致这样一些问题：“某种事物应该改变吗？”“某件事物能够改变吗？”“如果可以，那又怎么改变呢？”

10-10 未来的工程师

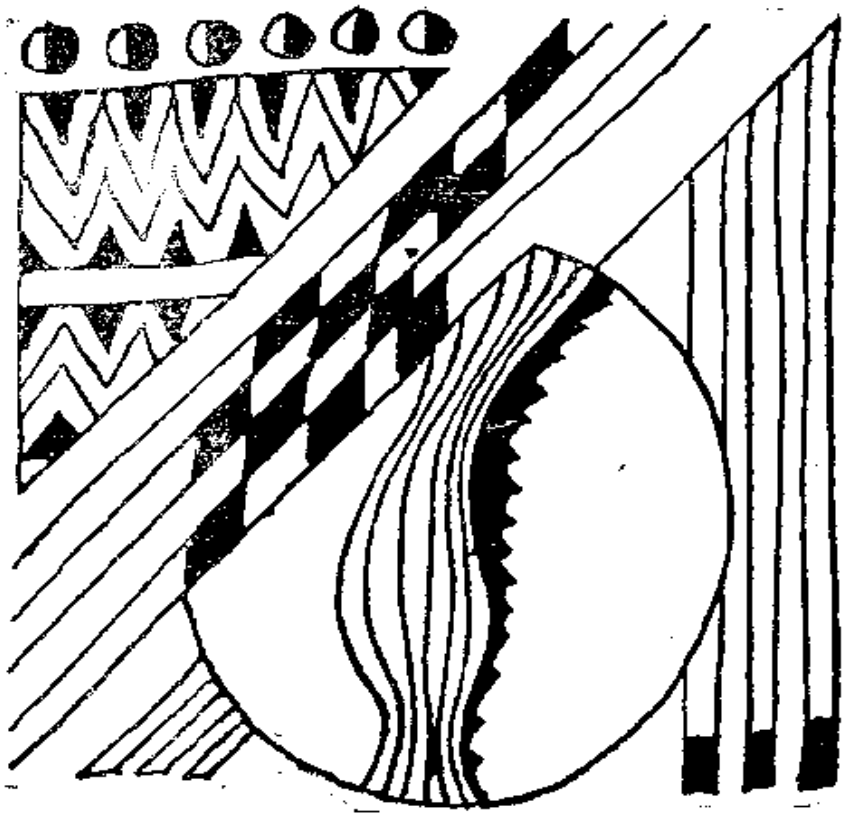
如果工程师们参与这种变化过程，如果他们根据工程师这个词的本来定义，使自己成为名副其实的工程师，如果他们在最大生产力的含义上和人道主义含义上使自己成为革命者，那么他们必须学会理解隐含在他们所从事的任何工作中的社会系统的定义。他们必须学会理解从他们的服务对象观看世界所得到的或多或少清晰的前景，并判定他们是否希望对事物有同样的看法，如有必要，他们就要介绍更满意的前景。

对许多商行或许多个人来说，传统的社会系统前景要求急剧地变更，那是很好的事。工程师最好

就象许多自称“提倡规划者”的建筑师和其他职业专家或技术工作者似的，按照相宜的价值定向，按照有关的特殊利益集团的继续存在来选择他们的就业场所和他们的社会系统前景。

技术并不是一个非人力地形成社会生活条件的独立变量。无条件的技术决定论只不过是夸大的“空话”。人们决定他们的环境、他们的生活空间以及他们的生活将发生什么变化。通过技术的和科学的手段，含蓄地或明显地不断形成这些决策。

而当工程师们开始更深刻地理解他们作为设计人员以及社会系统的任职者所起作用的含义时，他们将开始更充分地参与为他们自己也为我们这个星球上的每个人形成生活条件而作出决策。



第十一章

评社会组织的系统方法

C·丘奇曼*

* C·韦斯特·丘奇曼（C·WEST·CHURHMAN）
伯克利市加利福尼亚大学商业管理学院商业管理总论教授。

最后这一章是对系统方法的评论。鉴于我要写的内容多半具有哲学性质，我干脆确切地解释一下什么是哲学。哲学就是在严肃的艰巨的工作中探索困难所在的活动。如果别人明白如何解决这些困难，哲学家是很不高兴的，因为哲学家实际上一点也不喜欢解决办法。我在这里的任务并不是要兜售系统方法，而是要指出它的某些基本困难。我应当说，虽然哲学家探索困难，但他们只是在自己特别喜爱的那些事情中探索困难之所在。请留意，这一章没有结局。它提出的问题肯定还没有得到解答，但在另一方面，却用了很多赞美与热情的话来讲这种我们称之为系统方法的东西。

这一章还有另一个特色。其他几章中有的讨论大系统，例如计算机系统，宇航员所使用的系统，

而我是更加侧重社会系统（或者，我们有时也称它为社会组织）。

11-1 背 景

我想稍微回顾一下我要讨论的种种新事物的背景和若干历史。的确，如果我真的要考查长远的历史，我肯定要追溯到古希腊的城邦，柏拉图的“理想国”，就是系统方法用于国家政体的卓越典范。柏拉图试图鉴别〔政体〕的各种组成部分，并注意它们如何彼此相关，甚至暗示有种种适当的量度标准来衡量与社会或组织相联系的性能。

当我沿着历史进程往下考察时，我们反复看到，在各时代科学和知识分子能力所及的范围内，努力把系统方法应用于各种不同社会系统的企图。论述系统方法的非常著名的书籍中，杰里米·边沁的《道德与立法原理导论》就是一本。它不仅制定了系统方法的程序，而且还记载了我以后提到的种种基本困难。

然而引用历史上过去太远的东西，对于大学师生来说已经不时兴了——这会造成一个印象似乎他

没有跟上新近的报刊杂志。所以我马上就给你们一个非常简短的梗概，略述一下从三十年代到现在的组织理论。在三十年代中，社会科学在组织理论方面的兴趣，可以用直觉的规范的这些词的形容。人们曾努力得到他们在组织方面的经验，并结合某些研究工作，提出了所谓“组织原理”，其中最著名的恐怕是“控制跨度”。他们走得这么远，甚至于说，一个经理不应当有七名以上向他汇报〔工作〕的人。如果你为正的或负的误差 ε 而烦恼，那末可以假定 ε 约为 1。这就表明这项工作已经做到多么精细的程度。

在四十年代，人们对于发展所谓组织原则的全部努力已普遍感到失望了，社会科学家们，在实证论及其他的影响下，决心把他们的心血大部分用于所谓组织描述，至于对组织的价值和目标，甚至它的业务经营方式，则没有说明他们自己的观点。这些叙述是以访问记、调查表之类的东西为依据的。它们提供了许多关于组织的生命过程中某些重大的情况的有价值的情报资料，但是它们实际上对于组织及其结构却根本不作任何深入的分析。的确，当你查阅过去的许多文献时，就会发现它们原来是十分枯燥乏味的资料，其原因也很简单，就是大量使

四十年代中的组织伤脑筋的事，今天已不再使我们感到困惑了。

11-2 系统分析

五十年代看到，现在名叫“系统分析”、“运筹学”、“管理科学”以及许许多多别的名称的东西出现了。我可以说，这种命名给那些不熟悉这种发展的人带来了困难；名称这样多，起因于不喜欢象“运筹学”或者甚至“系统分析”这种名称，就又提出其他的名称。除非你愿意卷入名词论战之中，你可以认为所有这些名词都是指同一类的工作，只不过是不同的人强调不同的侧面罢了。

11-3 全面考察

我要叙述的这种系统分析大致出现在1950年前后，它是在以前努力完成许多相同的任务的基础上发展起来的。我们考查一下1950型的系统分析逻辑步骤。你可以设想自己是加入组织的一群人中的一

个成员——这个组织可以是一家商行，一个教会，或一个政府机构----并且你打算用系统分析或运筹学来帮助工作。如果你生活在那个时代，你做的工作就是试图了解整个组织的全貌。当时我们确实喜欢这一想法：我们认为我们与大多数活着的人不同，因为我们着眼于整个系统。我们这样说究竟是什么意思，我们当时并不确切知道；后面我将指出为什么那时不知道。我曾说过，我们对于解决经理心中盘算的某个具体问题是不感兴趣的。我们是想在他的协助下考虑整个组织，并且，在我们对整个组织作为系统进行了解之后，我们才着手处理具体问题。因此你的第一个目标该是得到整个组织的全貌和它出问题的地方以及在哪里你的分析可以有些帮助。

11-4 可行性的问题

下一步是找到“有可行性的”问题作为研究对象。“有可行性的”之所以必须加上引号，再次由于我们当时不确切有把握这个形容词究竟是什么意思。不过看起来它当时是指我们觉得我们有某种教

学性质的能力，或者更确切地说，有某种“分析”性质的能力，而这些能力可以应用于一定类型的问题，但不是所有的问题。例如，分析就不能应用于这样一些问题上，在那里，问题的严重性取决于人或政治，因为我们认为我们没分析这种问题的能力，因此它们就是“不可行的”。但是我们可以分析象资源分配这样一些问题。

因此，我们在五十年代看到运筹学和系统分析在象生产管理这样一些问题上的许多应用，因为生产实质上是一个分配问题。那就是说，这项任务是算出多少资金和资源要投入不同种类的产品生产中去。

11-5 构造模型

所以五十年代看到，许多生产调度和库存控制模型提出来了。这些模型体现了组织内部各种价值的矛盾，特别提到这一点是重要的。生产管理的一个目标就是在产品有需求时生产产品，另一方面，如果你生产太顺利，你就发现正在积累扩大的存货超过了你的库存能力。你必须想方设法学会平衡这

两种互相矛盾的利益。

五十年代还看到，大量的数字规划和排队问题提出来了，同时还有对策论和模拟方法，它们得到广泛的宣传，可是事实上却很少用来帮助解决实际问题。我应当说明一下数学规划的结构，因为这会有助于理解运筹学的“分析”。数学规划的结构是相当简单的。我们有一测度z，我们称它为系统的“性能的测度”。假定这个测度是一组变量 x_1，x_2

个变量和三万五千个左右约束方程。不管你怎么说，它无疑是迄今为止最大的一篇数学作品。你也许会奇怪，人们怎么可能解决这个问题，因为，如果你曾经为约束函数求它的最大值，你一定会注意到，即使只有少数几个变量，这也是非常繁重的工作。模型建得巧妙，表现在想出一种方法能使人们节省大量时间，尤其是计算机的时间。从问题的复杂性同求出一个解答所需时间相比较来看，解线性规划和非线性规划的算法给人的印象就很深刻了。

然而，我对数学的美妙还不如我对这种分析的基本逻辑的兴趣大，现在我就要提请你们注意。这种逻辑表明，至少对于组织的一部门而言，不仅有可能导致以“获得最大利润”或“满足公共福利”表示的组织目标，而且有可能用一个统一的测度给这些目标定量。这种做法受到一定的约束条件的限制，这些约束条件与性能测度的关系非常密切。事实上，这种逻辑提供一种方法，能使我们估计在一定的水平上调整一个约束条件要付出多大代价。换句话说，用某些武断的管理决策来规定约束条件是不必要的。我们作为分析家至少可以断定，以某种方式规定一个约束条件的价值或负价值（代价）实际上是多大。所以，如果加利福尼亚理工学院的行

政当局说，某一专业不可超过x名学生和教授，那末，运用数学规划至少在原则上能够用总系统的基本隐含值z来估计出这样一个约束条件的代价。

至少，我已经识别出运筹学的三个步骤：全面考察，鉴定有可行性的问题，以及用我刚才提纲挈领论述的逻辑构造模型来处理那个问题。

11-6 搜集数据

第四步是搜集数据。在线性规划模型中，数据实质上是由估计系数组成的。这些系数告诉我们一种活动对于系统（z）的得分有什么贡献。

我研究过自然科学，也研究过社会科学，根据我同科学打交道的经验，我发现，虽然收集数据在研究工作中占有很大的比重，相对说来却很少说到它，就这个意义上的哲学观点而言，收集数据是一种稀奇古怪的活动。这在运筹学中尤其正确。学完运筹学课程的大学毕业生以为，只要他们手里有了模型，任何象样的组织手里肯定会有数据。这是针锋相对，难道不是吗？于是，比如说，我们有了一个库存模型，我们要求作为数据的维持库存的代

价。或者，我们有了一个排队模型，我们就要求排队的代价。学生们期望在公司的帐目中，或者其他什么地方，能查到这些代价确实是多大。他们感到很诧异，竟然谁也不知道。但是他们可能得到某些线索：去哪儿和问什么人，如果他们能联系上，他们可能取得某些答案。

例如，以在私营部门中维持库存费用方面我的经验来说，曾经给予我们的数字是从每年3%到36%，这两种答案都是以回答人认为在他看来是一组完全合理的假设为依据的。一种答案是一家公司给出的，那里的经理说，从效果来看，如果我们把钱用在维持库存上，那末我们就不能用它来投资于其他公司。现在他们不会去得到其他公司的所有权，除非能够证明那家公司在纳税之前在他们的投资上有36%的赚头。因此维持库存的费用是库存价值的36%。另一家是控股公司，也可以说是母公司；在账面上，它以3%的利息贷款给它的子公司，因此这些经理以为维持库存的费用只是3%，因为，不管什么时候，如果他们需要额外的现款，他们总可以去找母公司，她会以3%的年利借给他们的。

当然，我是有点开玩笑，但要点是，一个根本的困难已经悄悄地进入系统了。这个困难就是，不了

解总系统的其他方面，在这个特殊的情况中，不了解流动资产方面的财务政策，你就不可能得到关于费用的数据。换句话说，即使我们鉴定了可用库存理论解决的一个有可行性的问题，如果不到财务部门去了解他们在流动资产方面的政策，我们还是不能解决这个问题。

这是贯穿在所有已经作出的运筹学研究工作中的一个极端重要的特点。为了获得模型的基本数据资料，就必须弄明白关于更大系统的特征之很有影响的假定，而要研究的特殊问题则是嵌在这个大系统之中。

另一个同样性质的例子是需求。显然，如果我们要为生产部门建立一个库存系统，我们就必须了解需求的模式是什么样。这里，天真的学生好收集需求方面过去的数据，假若它是有用的话（使他非常惊奇的是，它通常是没有用的）。利用过去的记录，他制作了直方图，又因为他懂统计学，所以他作了种种不同需求量的概率估计。可是，他的整个策略可能是错误的，因为正在引起需求的那一部分系统可能目前经营不正常。的确，这是常有的事，在私营企业部门，人们可以用改变广告和价格的办法来改变需求的模式。所以，在没有认定这个更大系统

是在正常运转之前，你不能搜集有关需求的数据。

收集数据总是要对更大系统作某些假定，这一般说来是科学的真理。如果你对于什么会影响和什么不会影响你实验结果的假设没有弄明白，你就不能进行实验桌上的实验。当然，这些假设可能是错误的。在系统分析方面，这同样是对的；只是在我们的情况中这个问题予以强调了，因为要长期抓住什么东西不放，把它认为是作决定的数据，是极端困难的事。

11-7 算出解答

那末，想方设法作出假设，我们收集了数据，并且把这些数据塞进这个模型，我们计算出一个解答。结果证明这个解答是属于下面这种类型：资源应当如何分配；一个特定的生产系统应当如何安排日程；一个特种运输系统应当如何设计。

11-8 执　行

除了计算解答这一要点之外，显然还有另外一

个阶段要出现；在系统分析中我们称它为“执行”。有的事情必定会在设法求得解答过程中碰见的。真够有趣的，我们在五十年代竟然这样热情，甚至相信只要根据我们的模型和我们认为相当准确的数据求出一个合理的解答，每个经理想到我们为他的问题找到了解决方案是件了不起的大事就会拥抱我们。而且，假若这些经理先生们不执行我们的解决方案，他们就是再愚蠢不过了的。因此只有两种选择：要么接受我们的解决方案，要么被指责为愚蠢。逐渐地我们开始认识到执行问题——你如何从构思模型到实现解决方案，也许是最重要的问题；与你如何根据分析来改变一个组织这个问题比较起来，前面出现的问题就是次要的了。那末我就想说，六十年代证实有一种以运筹学的实际工作者为代表的兴趣，这是与学究式的运筹学家的兴趣相反的，后者在执行问题上惶惶然束手无策，而前者则为他的任何一项工作能否得到贯彻和执行而操心。

举个例子来说明我的论点，在五十年代我有一群研究生，他们给《运筹学》杂志（美国两种主要运筹学期刊之一）的论文作者写信。这些作者叙述了他们做过的专题论文。这些学生写信对他们说：

“我们已经拜读了你对自己研究工作很有魅力的说明，我们也确实认为它在各方面都是极好的；我们只是非常想知道你在完成它之后出现了什么情况。”每篇论文都以算出一个解答来结束，然而究竟是否有人就此做过什么工作则连一点蛛丝马迹也看不见。大约十几封回信中，只有一位回答者能够说，解决方案已经付诸实现，或者知道该项研究成果的后来情况。

但是正如我说的那样，在六十年代，运筹学的实际工作者对执行问题逐渐有了一种健全的尊重态度。他们在某些情况中也对未能落实运筹学解决方案的那些经理有了健全的尊重态度，因为这里往往存在着运筹学的实际工作者没有认识到的某个侧面情况。

最后，如果人们在执行中是成功或者也许是不成功的，那末人们就得返回来把整个系统再循环一遍，探索别的有可行性的问题，别的模型，收集别的数据，别的计算求解方法，等等。不用说，我说的这些步骤并不必须按出现时间先后排列，举例来说，因为在一个“解答”即将得到之前，通常是要多次重复阐述这个问题。因此大多数运筹学小组就象在职的医生一样活动：只要有问题他们能够帮助

解决，他们就设法帮助解决这些问题。

11-9 评　论

这一章的其余部分是对我已讲过要点的系统分析共同程序加以评论。我应当说，我是以十分谦恭的态度进行这种评论的，因为这些步骤是我们大多数人在运筹学讲习班中试图讲授的内容之一。它们并不是实践如何进行的坏主意，不过我认为我们在七十年代察觉到有某些充足的理由要我们暂时停一下，问问是否不应当探索更好的方式来安排系统方法的各项活动。

11-10 性能的测度

对运筹学批评最多的人，通常攻击系统性能的统一测度这个概念。他们争论说，要找出组织的一个目标是不可能的。他们也许会说，在私营企业部门中，公司的净利润有可能是性能的测度，但是在非军事性的公共事业部门（诸如图书馆、医院等）

则没有这样的测度。不过我认为以前对我们设法找出系统性能的统一测度的努力所作的这种批评并未击中要害。我未曾说过我们总能找出这种测度；例如，在我的一生中我甚至不能模模糊糊地知觉到什么是图书馆性能的测度。我的许多学生曾作过艰苦的尝试，但是我们不得不作出这样的结论：我们的确不知道大学图书馆要使什么东西最大化。某些不太厚道的爱开玩笑的人已经粗鲁地建议，要使保持在书架上图书数量最大化！

因此我们必须得出这样的结论，目前我们对于象图书馆、医院、大学这类组织还未听说能够知道怎样形成它们的性能统一测度。但是这一结论是全部科学的特征。有许多东西是现有的科学不能测量的，甚至在近似的意义上也做不到，虽然它知道有这些事物存在的情况。因此藉口发现系统性能的统一测度极端困难而责难我们要为此努力，那是不公正的。因为我们是现代的理性主义者，我们主张，如果组织在它们的行为方面要是合理的话，那末经理们作出决断的时候，他们实际上的确是对各种相互冲突的价值作了平衡。运筹学方面所作出的非常有教益的并激动人心的专题论文中，有一些就是得自以往管理的决策，而且还指明了例如经理们曾经

设想生命价值是多少。第二次世界大战期间，一份关于飞机驾驶员的研究论文中所推断生命的价值，正如美国国防部安全决策中所估计的那样，约为100，000美元。那是按1940年的货币计算的；如果按今天的货币计算，那就要高得多了。我们常常听说，我们不可能计算病人等候就诊所付出的代价。回答是，在你决定医生时间的具体分配时，就含蓄地作出了这种计算；既然等候就诊的代价含蓄地予以假定，那末为什么不明确地把它表示出来呢？

当然，为什么我们不能找出统一测度还有其他的缘由，不过我宁愿继续指出，我目前考虑的是在系统方法方面有些事情我们没有搞好。这些困难所在的根源保证在我们前面仍有一场激动人心的冒险。

11-11 谁是顾客？

我认为，困难所在的根源之一是我们为我们的数据而使用的证据。当我说我们走访不同的经理并设法从他们那里得到象维持库存费用这类事情的种种估计时，就已经婉转地提到这一点。在组织的

许多问题中找出哪些问题是我们应当研究的对象时，我们也是很重用经理们的。用我的话来说，我们过去往往很坚定地认定系统分析的真正顾客是行政管理当局——经理。当然，尽管我们曾经认识到许多系统中的真正顾客不是经理，我们还是设法从经理那里弄清楚该系统应当如何工作的情报。在医院系统中，真正的顾客无疑是病人，或者是潜在的病人。在教育系统中，真正的顾客是有受教育要求的人。如此等等。过去我们往往把经理当作真正顾客的代理人。

我知道许多人认为，系统分析家为付钱给他的人工作是不言而喻的事，而付钱给他的人正是经理。在许多情况中实际发生了的事情，是在探求行得通的解决方案时和在估计其他不同种类的信息时，系统分析家集中注意行政管理当局——经理并视为他的向导；这种情况造成了系统分析家和真正顾客之间一种可称之为行政屏障的东西。而且，这种屏障经常歪曲真正顾客的价值。

例如，我现在正专心一意地致力于一项研究工作，它同利用从人造卫星、飞机和地面观察获得的地球资源信息有关。几乎所有参加这项研究工作的人都认定地球资源信息的“用户”是在某个政府机

构中的人们。但是政府机构都不过是中间人，他们被人设想是在为更基本的顾客服务。假若这些中间人并不是在为最终的顾客服务，那末你明白系统分析会发生什么情况。我们以非常精确和严格的方式解决这个错误问题。

在我的一个讨论班上，要求学生们研究一个社会系统，并且用他们最好的判断能力来鉴别（1）决策人，（2）真正的顾客，以及（3）性能的测度，如同决策人认别它那样；然后按照他们的判断，查明系统本身是否正在为真正的顾客服务。他们考查了大量五花八门的系统：军队中反叛乱大队，医院、图书院，大学的系、私营公司、俱乐部、教会等等。最后，24个在讨论班上发言的研究生中有23个人说，按照他们的意见，系统不是在为真正的顾客服务。他们不是说经理人坏，而是说不晓得什么缘故，系统就已偏离了它原定要其服务的人们。

因此，这是我们在七十年代系统分析方面所面临的一个挑战：要比以往更加严肃得多地去理解真正顾客的本性以及我们应当如何努力识别真正的顾客。

11-12 研究人类价值的两种方法

在所有的系统分析中都伴随有一种道德考虑，这在规划以及知识分子所卷入的其他各种促使社会改良的活动中也都能看到。这种道德上考虑可以用康德在十八世纪八十年代写的一本著作来诠译。康德主张有两种研究人类价值的方法。一种是审慎的方法；其目的是使他称为幸福而我们称为效益或Z——得分的东西达到最大值。康德说，这种研究方法实质上忽视了个人作为个人的价值。它把诸多个人当作具有一定特性的人民的集团。它述及集团的性质，而且不可能把人民作为诸多单独的个人来考虑。康德的说法是很有预见的，因为如果你注意一下线性规划模型，你就会看到，若Xi不是指个人和人力，而是指机器，那么完全可以用同一种方式来描述系统：机器的模型就会与社会系统的模型完全一样。

康德说，价值的另一个侧面涉及到个人。康德提出的道德律令是，应当把每个人都作为他自身目的来对待，绝不应当仅仅作为手段来对待。系统方

法和系统分析的一个侧面或困难所在，就是如何解决作为他自身目的的个人同整个社会福利之间这一基本社会矛盾。系统分析家都是天真的社会改革家。他们想方设法促进改善社会系统。可是在他们全部研究论文中所作的建议都导致把个人作为手段而不是作为目的来对待。因此，从某种意义上说，在总价值系统的那个涉及个人的道德境界的方面，他们是失败了。

我可以举例说明上面的论点。在五十年代，当我们估量运筹学种种发展时，我们常常说“我们本来可以为某某公司节省三百万美元”。“他们怎么能不接受我们的解决方案呢？”为什么不行？对呐，理由是，节省几百万美元往往就要意味着解雇好几百人。这种解决办法的含义就是把人作为手段而不是作为目的来对待的。

11-13 系统的相互渗透

与这个基本困难密切相关的是系统的“政治生命”，从而也是未来系统科学的一个激动人心的前景。我从研究种种不同的系统，尤其是公共部门的

系统的经验中得到一种理论，就是，系统的相互渗透性今天有所发展。我以讨论教育系统作为例证。

研究教育系统的传统方法，可以说是把教育系统分为三个组成部分：行政管理、全体教师和学生。在传统的大学和学院里，他们的这些职能是勾画得相当明确的，行政当局的职能在于筹谋教育基金以及对于建筑物的布局和分配，教学大纲的制定等诸如此类的事情作出基本决策；全体教师的工作是决定在大纲范围内必须讲授的内容；而学生应做的事，可以说是掌握讲授内容并吸收消化之。

现在关于这种传统的研究方法在许多大学已经有了严重的问题。就我说的系统相互渗透来看，每个人都认为他应当投入于教育工作的全过程——教育是相互渗透的过程，从生到死一生都在进行教育——每个人不仅要专心致力于决定该教什么和教什么人而且还要涉及大学的行政管理。我看，同样这类事情在卫生系统中也逐渐暴露出来，在那里，我们开始认识到卫生保健的主要问题并不是疾病问题。健康是一个相互渗透的问题，如果你生活在高度两极分化的社会中，就尤其严重。

考察相互渗透性的另一条路子就是指明，用我在前面讲的那种具有五十年代方法论特点的一次就

能恰当地研究社会系统的一个部门的方法，已经发现是越来越困难了。我们发现不管卫生问题而独立地研究教育问题，即使不是不可能，也是非常困难的，因为教育和卫生是社会系统中不可分割的两个侧面。力图以“有可行性的”方式来规定系统的种种边界，会使我们进行这种恰好是错误问题和错误答案的研究，因为我们没有研究一个特定问题与它在其他社会领域中的分支之间的相互系统。

例如，请考虑一下联合国说的“蛋白质危机”。在全世界发展中的国家里，食物中缺乏蛋白质是个非常严重的问题，尤其对孕妇来说，最为严重。在联合国关于蛋白质问题的专题论文中，重点是放在如何生产和分配更多的蛋白质上。似乎没有一项研究工作认识到蛋白质问题是教育问题，因为大多数人并不明白蛋白质的重要性。在“蛋白质危机”中，教育问题和蛋白质生产具有同样的重要性。

系统分析家有时相信，通过研究各种各样决策的“第二级和第n级效应”，他们就妥当地处理了问题之间的渗透关系，正象一个卵石扔进平静的池塘产生第n级波一样。但这完全不是我现在谈论的东西。第n级效应当然重要，不过我是在论证，没

有对整个池塘作出很强的假设，我们就不能决定是否该扔进卵石。不假定整个系列的性质，我们就不能说这样那样的决定是“一级近似”。

11-14 未来的系统哲学

因此我相信未来的系统分析必定会研究提出一种哲学，不同于我先前所讲的那种哲学。按照先前的哲学，人们从解决方案到解决方案，到这里提出改进系统的方案，然后到那里，然后又到这里，如此这般。我想，我们将来应当采用一种可以称为“学习哲学”的思想，而且丢掉“解决方案”这个概念。

现在的情况是，我们提出解决方案，然后设法实现它，如果我们做到了——那很好；如果我们未做到，我们还能继续去找别的问题。我们实际上并没有把系统方法用于我们自己身上，因为我们带着相当浓的机会主义者的作风。雄心抱负应该是竭尽全力阐明一种如何着手的系统方法。我们不愿听从紧急情况或最可行的问题等诸如此类的事情的支配。我们希望看到我们有会起作用的全盘计

划。我的意思并不是说我们在设计我们从事的总系统方面会比别人高明，但是我们可能把它用作我们自己选择工作对象的基础，然后修改我们的策略，就象我们处置任何系统方法那样。

如果我们要老老实实地工作，我们就需要系统方法的模型。从根本上说，我们必须改变这种搞成一个解决方案，接着又去探求新问题的想法。这不是那种机会主义者的作风。就象我已经说过的那样，无疑还必须改变我们关于性能测度的概念以及我们打算从哪里得到它的想法。因此，一旦我们看明白我们不能依靠组织的特定部门提供信息，研究工作本身的策略就可以改变了。

总起来说，我们将有必要把系统方法应用于系统分析本身上，这种反省性的思想出现得如此之晚真是难以置信的。运筹学到现在还很少应用于运筹过程中。结果许多运筹学小组在它努力工作的领域中失败了，因为他们从来不用他们自己的原则来考虑他们自己的工作。如果他们真的做到了，他们可能早就开始对于他们进行工作的某些基础提出疑问了。

现在实用主义者已经提出，社会只有当它足够大胆进行“实验”时，才学会如何改善它自身，

这里所说的“实验”，就是接受它尚不知道应付的事实，并愿意试行某些由分析和别的规划方法得出的建议，查明它们是否“有预期的结果”。不过这是一种很简单化的学习观点，因为它假定我们对于判断是否“有预期的结果”已经有了正确的眼光。如果一项政策造成多数人富裕和少数人饥饿，那么多数人会说它“有预期的结果”。因此我们必须认识到，当我们试图查明一项特定的计划是否在实践中生效时，我们是不得不在一定的、也许是错误的框架中做这件事的。我们必须手里能够同时掌握社会现实的不同表现。

因此需要有改进系统的辨证方法。不然的话，我们就很容易发现自己的能力受到社会现实一种表现的限制，而这将妨碍我们能够从我们从事的各种活动中学习。我想说，未来系统方法的主旨概念将是辨证的学习过程。在我说了这句话之后，我也应当承认我并不确切知道这个过程的含义；教育的本质是能辨别出什么是你不知道但又必须知道的这样一种能力。